

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



---

“Diseño de un sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros 12mm, 1/2”, 3/4”, 5/8” mediante procesamiento digital de imágenes, del área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. ubicada en Chimbote”

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO

---

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** PROCESAMIENTO DIGITAL

**AUTORES:**

Br. Isabel Alessandra Flores Macalupú

Br. César Daniel Torres Chilón

**ASESOR:**

Ing. Lenin Humberto Llanos León

TRUJILLO – PERÚ

2015

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TÍTULO:**

“Diseño de un sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros 12mm, 1/2”, 3/4”, 5/8” mediante procesamiento digital de imágenes, del área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. ubicada en Chimbote”

**DESARROLLADO POR:**

---

Br. Isabel A. Flores Macalupú  
Tesisista

---

Br. César D. Torres Chilón  
Tesisista

**APROBADO POR:**

---

Ms. Ing. Filiberto Azabache F.  
Presidente  
N° CIP: 97916

---

Ing. Saúl Noé Linares Vértiz  
Secretario  
N° CIP: 142213

---

Ing. Luis Alvarado Rodriguez  
Vocal  
N° CIP: 149200

---

Ing. Lenin Llanos León  
Asesor  
N° CIP: 139213

## **Presentación**

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad a lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, pongo a vuestra consideración el trabajo de Investigación Titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTEO AUTOMÁTICO DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN DE DIÁMETROS 12MM, 1/2”, 3/4”, 5/8” MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES, DEL ÁREA INDUSTRIAL DE LAMINACIÓN LARGOS DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.C. UBICADA EN CHIMBOTE” a fin de ser evaluado.

Este trabajo es el resultado de nuestra experiencia laboral adquirida en el área de Procesamiento Digital, que se plasma en un sistema de visión artificial dentro de la ciudad de Chimbote, de la cual esperamos permita reforzar el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Esperamos que el presente trabajo logre cubrir las expectativas que tienen al respecto, excusándonos de antemano por los errores involuntarios incurridos en el desarrollo del mismo.

Br. Isabel Alessandra Flores Macalupú

Br. César Daniel Torres Chilón

## Dedicatorias

*A Dios, quien ha sabido  
encaminarme a lo largo de mi  
vida, ya que sin Él no  
conseguiría nada. A mis padres  
Jenny y Parris, a mi hermano  
Jesús, por ser mi bastón y mi  
eje para obtener este triunfo  
profesional.*

*Isabel*

*A Dios, mis padres Rita y  
César, familiares quienes han  
sido durante toda la vida, a mi  
novia y familia que han sido  
muy importantes en el proceso  
de la carrera profesional, todos  
ellos son parte de este logro por  
el apoyo para que hoy obtenga  
un anhelado triunfo.*

*César*

## **Agradecimientos**

*Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:*

*A toda nuestra familia, por el apoyo incondicional en todos los momentos de nuestra vida.*

*Al Ing. Lenin Humberto Llanos León, amigo incondicional, quien nos orientó y colaboró durante la elaboración de la tesis.*

*A todos los profesores que durante toda la carrera nos brindaron sus conocimientos y nos dieron la mejor formación como Ingenieros Electrónicos, en especial al Ms. Ing. Filiberto Melchor Azabache Fernández.*

*A la Universidad Privada Antenor Orrego, por la formación profesional brindada durante estos 5 años.*

*Y a todas aquellas personas que de una y otra manera se hicieron partícipes en este gran logro.*

## **Resumen**

El presente trabajo de investigación consta de ocho capítulos, los cuales son descritos a continuación:

En el primer capítulo, se hace una introducción a la problemática encontrada en la conteo de barras de construcción en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica de Perú S.A.C. ubicada en la ciudad de Chimbote., exponiendo además el objetivo general, objetivos específicos del proyecto, la hipótesis y la justificación del estudio.

En el segundo capítulo, se realiza una descripción de las definiciones de los conceptos relacionados al trabajo de investigación.

En el tercer capítulo, se hace un resumen de los materiales y métodos utilizados en el presente trabajo, así como los procedimientos para el desarrollo del diseño del sistema de conteo, esto mediante el diseño en cada uno de las etapas definidas: etapa 1 o adquisición de imagen, etapa 2 o red de comunicación, etapa 3 o conteo de varillas, etapa 4 o certificación de conteo.

En el cuarto y quinto capítulo, se presenta respectivamente los resultados del desarrollo del proyecto y la discusión de los mismos.

Finalmente en el sexto, séptimo y octavo capítulo, se expone las conclusiones del trabajo de investigación, recomendaciones a trabajos futuros y las referencias bibliográficas relacionadas al proyecto.

## **Abstract**

This research is composed of eight chapters, which are described below:

In the first chapter, an introduction is made to the problem of coating construction bars in the Laminacion Largos industrial area of Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C located in Chimbote. Also the main and the specific objectives, hypothesis and the justification are exposed.

In the second chapter, the description of the concepts related to the project is performed.

In the third chapter, a summary of the materials and methods used in this research, and procedures for the development of the coating design, by describing the four stages of the system: stage 1 or image acquisition, stage 2 or communication network, stage 3 or rods count, step 4 or certification counting .

In the fourth and fifth chapter, present respectively the results of the development and discussion of them.

Finally, in the sixth, seventh and eighth chapter, the conclusions, recommendations and bibliographic references related to the project.

# ÍNDICE

Acreditaciones.....	ii
Presentación.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xiii
1.INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.Delimitación del problema.....	2
1.2.Antecedentes.....	6
1.3.Formulación del problema.....	8
1.4.Objetivos del estudio.....	8
1.4.1.Objetivo general.....	8
1.4.2.Objetivos específicos.....	8
1.5.Formulación de hipótesis.....	10
1.6.Justificación del estudio.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Visión artificial .....	13
2.2. Modelo físico de la luz.....	13



2.2.1. Distribución Espectral de Energía .....	13
2.2.2. Flujo Radiante .....	13
2.2.3. Flujo Luminoso.....	13
2.2.4. Intensidad Luminosa .....	13
2.2.5. Luminancia (Brillo).....	14
2.3. Modelo Fisiológico de la luz .....	14
2.3.1. Percepción Acromática .....	14
2.3.2. Percepción Cromática .....	15
2.3.3. Diagrama Cromático y Teoría Tri-estímulo.....	15
2.4. Adquisición de imágenes .....	17
2.4.1. Cámara Industrial.....	17
2.4.1.1.Tipo de sensores de imagen .....	17
2.4.2. Lente óptico .....	20
2.5. Sistema de iluminación .....	21
2.6. Imagen digital.....	21
2.7. Imagen binaria .....	22
2.8. Imagen en escala de grises.....	22
2.9. Procesamiento digital de imágenes.....	22
2.10. Relación entre píxeles.....	23
2.11. Segmentación de la imagen .....	26
2.11.1.Histograma: Thresholding .....	26
2.11.2.Segmentación mediante detección de bordes.....	27
2.11.3.Segmentación basada en el conectividad .....	28
2.12. Procesamiento morfológico .....	29
2.13. Matlab .....	30
2.14. Redes de comunicación .....	30
2.14.1.Jerarquía de comunicaciones .....	30
2.14.2.Clasificación de redes de comunicación.....	31
2.14.3.Estructuras básicas de redes .....	32
2.14.4.Medios de transmisión .....	32
2.14.5.Modos de transmisión .....	41
2.15. Estándares de comunicación industrial .....	47
2.15.1. RS-232.....	47
2.15.2. S-485 .....	47

2.16. SERVIDOR OPC.....	48
2.17. PLC.....	49
 3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	 50
3.1. Material.....	51
3.1.1. Población.....	51
3.1.2. Muestra.....	51
3.1.3. Unidad de Análisis.....	51
3.2. Métodos.....	51
3.2.1. Tipo de Investigación .....	51
3.2.2. Diseño de Investigación.....	52
3.2.2. Variables de Estudio y Operacionalización.....	53
3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos.....	55
3.2.5. Procedimiento.....	57
 4. RESULTADOS.....	 81
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	87
6. CONCLUSIONES.....	89
7. RECOMENDACIONES.....	91
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXO.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. El ojo, fuentes fotorreceptoras.....	14
Figura 2.2. El modelo tri-estímulo.....	16
Figura 2.3. Tipos de tecnologías de sensores de imágenes.....	19
Figura 2.4. Lente óptico.....	20
Figura 2.5. Imagen digital.....	21
Figura 2.6. Imagen binaria.....	22
Figura 2.7. Procesamiento digital de imágenes.....	23
Figura 2.8. Vecindad del pixel “p”.....	24
Figura 2.9. Histograma de una imagen en blanco y negro .....	26
Figura 2.10. Representación 3D de un histograma de color.....	27
Figura 2.11. Imagen resultante de la segmentación mediante borde de una imagen..	28
Figura 2.12. Imagen resultante de filtro vecindad.....	28
Figura 2.13. Proceso de dilatación y erosión.....	29
Figura 2.14. Jerarquía de las redes industriales.....	31
Figura 2.15. Topología de red – estrella.....	34
Figura 2.16. Topología de red – bus.....	35
Figura 2.17. Topología de red – anillo.....	36
Figura 2.18. Cable de par trenzado.....	37
Figura 2.19. Cable coaxial.....	38
Figura 2.20. Fibra óptica.....	38
Figura 2.2. Tipos de fibra óptica.....	39
Figura 2.22. Microondas terrestre.....	40
Figura 2.23. Comunicación infrarrojo.....	41
Figura 2.24. Equipos DTE y DCE.....	42
Figura 2.25. Diagrama OPC.....	48
Figura 2.26. Controlador Lógico Programable.....	49
Figura 3.1. Diseño de la investigación.....	52
Figura 3.2. Mesa de enfriamiento – Laminador 2.....	58
Figura 3.3. Operador contado varillas en la mesa de acabados - Laminador 1.....	59

Figura 3.4. Operador enzuchando paquete de barras de construcción – Lam 1.....	60
Figura 3.5. Apilamiento de barras de construcción en la zona de logística – Lam 1..	60
Figura 3.6. Paquete de barras de construcción con varillas desalineadas.....	63
Figura 3.7. Paquete de barras de construcción con iluminación adecuada.....	64
Figura 3.8. Procesamiento digital de la imagen.....	67
Figura 3.9. Ejemplo de adquisición de imágenes.....	68
Figura 3.10. Contorno pre-definido.....	68
Figura 3.11. Ejemplo de conteo de vecindad.....	68
Figura 3.12. Ejemplo de análisis de fragmentos y detección de centroide.....	69
Figura 3.13. Objetos grandes.....	69
Figura 3.14. Objetos medianos.....	69
Figura 3.15. Objetos pequeños.....	70
Figura 3.16. Cuenta de objetos.....	70
Figura 3.17. Etiqueta estándar.....	71
Figura 3.18. Cámara Pixelink PL-D7715.....	72
Figura 3.19. SmartLED Projector .....	73
Figura 3.20. Campanas de iluminación.....	73
Figura 3.21. Interface de supervisión.....	74
Figura 3.22. Interruptor de pedal NA.....	74
Figura 3.23 Impresora Zebra 105SLPlus.....	75
Figura 3.24. Formato de impresión de etiqueta.....	75
Figura 3.25. Paquete formado por 260 varillas.....	77
Figura 3.26. Paquete formado por 144 varillas.....	78

Figura 3.27. Paquete formado por 57 varillas.....	78
Figura 3.28. Paquete formado por 260 varillas.....	79
Figura 4.1. Diagrama del proceso e identificación de deficiencias.....	81
Figura 4.2. Diseño final del sistema de conteo automático.....	82
Figura 4.3. Desviación porcentual de conteo en la producción de 12 mm.....	84
Figura 4.4. Desviación porcentual de conteo en la producción de 1/2".....	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Operacionalización de la variable dependiente .....	53
Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.....	54
Tabla 3.3. Tabla de requerimientos del sistema.....	55
Tabla 3.4. Tabla de etapas y sub – etapas del sistema.....	56
Tabla 3.5. Tabla de características de la red de comunicación .....	56
Tabla 3.6. Tabla de identificación de agentes físicos .....	57
Tabla 3.7. Tabla de características de los medios físicos.....	57
Tabla 3.8. Tabla de requerimientos Requerimientos de accionamiento neumático .....	59
Tabla 3.9. Tabla de requerimientos de pantalla de iluminación .....	64
Tabla 3.10. Tabla de requerimientos de la cámara .....	60
Tabla 3.11. Tabla de requerimientos del PLC. ....	61
Tabla 3.12. Tabla del presupuesto – Mano de obra .....	76
Tabla 3.13. Tabla de presupuesto – Materiales .....	76
Tabla 4.1. Tabla de etapas y sub – etapas del sistema.....	82
Tabla 4.2. Presupuesto del sistema de conteo.....	83

# CAPÍTULO I

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Delimitación del problema**

Perú, según WSA (World Steel Association – Asociación Mundial del Acero), es el 4to país productor de Acero en Latinoamérica, antecedido por Brasil, que ocupa el primer lugar, Argentina y Venezuela. En la estadística semestral que hace la WSA, en el país se produce alrededor de 100 mil toneladas de acero que es consumido dentro del territorio nacional. (URL01)

La Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C es la primera empresa de acero en el Perú, ubicada en la ciudad de Chimbote extendida en un terreno de aproximadamente 600 hectáreas. Por ser una planta integrada, tiene diferentes áreas industriales como Acería, Laminación Largos, Planos & Derivados, etc.

Según el cronograma de producción del 2015 brindado por el área de SOP (Programación y Control de la Producción), el área industrial de Laminación Largos es la encargada de producir aproximadamente 600 paquetes diarios de fierro de construcción distribuidos en sus dos trenes de laminación; estos paquetes, según su espesor pueden estar conformados hasta por 260 barras de construcción. (Ver anexo 1)

Actualmente, la empresa recepciona casi 200 reclamos mensuales por paquetes con faltantes de varillas según comenta Hans Rojas, asesor del área de Marketing, reflejándose esto en el reporte presentado por el área



mes a mes, donde se puede ver que esta situación tiende a crecer considerablemente.(Ver anexo 02)

La zona de acabados donde se forma el paquete, es la única parte del área que aún es artesanal, donde hay un colaborador encargado de hacer el conteo durante el turno de las varillas que conforman un paquete en la mesa de enfriamiento y en las balanzas de los recibidores.

#### **1.1.1. Características de la realidad**

La realidad problemática estudiada presenta las siguientes características:

- Exposición del operador a temperaturas que oscilan entre los 500°C a 600°C durante 8 horas.
- Error constante de conteo y demora en el proceso de recuento.
- Costo excesivo en las acciones correctivas de reclamos
- Imagen de la empresa afectada.

#### **1.1.2. Análisis de las características**

- El operador, realiza el conteo de las varillas durante 8 horas sobre la mesa de acabados, donde se hace el corte a medida y la formación de los paquetes de barras de construcción. Las varillas llegan a una temperatura que oscilan entre los 500°C y 600°C. El reporte generado mes a mes de la posta médica según la

descripción de la incidencia de los trabajadores del área de laminación largos, recalca todos los meses, las consultorías cuyo resultado arroja inflamación de las vías urinarias; así como se puede ver en el anexo 3.

- Como ya se ha mencionado anteriormente, el operador, cuenta durante 8 horas, sin relevo, sometido a calor, pudiendo generar un cuello de botella si este (operador) no va a ritmo de la producción; el número de las varillas que llegan a la mesa de acabados no es constante, varía según la decisión del operador de la cabina. Considerando también que por ser un puesto crítico, el encargado del conteo debe estar completamente concentrado, en un lugar donde circula una grúa puente que realiza la evacuación de los paquetes terminados por lo que la sirena suena constantemente. El paquete terminado es direccionado a la balanza, si este tiene un peso que no está entre lo permitido por el estándar, un colaborador, lo tiene que recontar pintando cada varilla en los extremos. Los paquetes contienen hasta 580 varillas según el diámetro, esto produce que no se realice el filtro del recuento al 100%, solo se recuentan 4 paquetes por hora en un laminador que produce cerca de 20 paquetes por hora. Como se puede ver en el Anexo 2, los reclamos por faltantes de varillas o por mal conteo superan los 400.

- Las acciones correctivas de los reclamos, han sido notorios, ya que si una empresa registra un reclamo por 1 o por 2 varillas faltantes, se le envía la cantidad de varillas que faltaron en unos paquetes especiales, o se realizan notas de crédito. Cuando es enviado los faltantes a cada cliente, los camiones son los encargados de entregarlos donde lo solicite el cliente, no en los almacenes generales como suelen enviar la producción, ocasionando costo adicional al contrato ya establecido por tonelaje, esto quiere decir que aumentan los costos de envío por la ampliación de la ruta y por el exceso de carga; si no quiere ocasionar este exceso, se tendrá que enviar menos paquetes a los almacenes generales y enviar más paquetes corregidos al cliente. En el anexo 5, se puede visualizar los costos de las acciones correctivas por tren laminador.
- La empresa, a raíz del aumento de reclamos, está haciendo una campaña de visitas de clientes, donde se hace un recorrido por todo el área y ellos logran ver el proceso de laminación, las mejoras y carencias del proceso. Luego de esta visita, se les entrega una encuesta donde colocan las expectativas que tienen de la empresa. Donde se logra ver la disconformidad del 65% de los clientes con la empresa, ya que creen que las no

conformidades se realizan por descuido de la empresa.

Ver anexo 6 y 7.

El presente trabajo se delimita a estudiar la problemática para reducir el número de reclamos registrados al área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. ubicada en Chimbote.

## **1.2. Antecedentes**

Habiendo realizado una pesquisa bibliográfica en la web se encontraron los siguientes antecedentes:

Título: “Conteo de varillas de acero por procesamiento de imágenes”

Institución: Universidad de San Carlos de Guatemala

Publicado en 2013

Autor: Abel Alejandro Dueñas Rodríguez

Christian Edward Vadillo Vidal

El aporte obtenido de este trabajo es la clasificación de filtros adecuados por los que se debe someter la imagen a procesar, de tal manera de obtener la información requerida.

Título: “Procesamiento digital de imágenes de ultrasonido”

Institución: Instituto Politécnico Nacional - México

Publicado en 2010

Autor: Rodrigo Hernández Navarrete

El aporte obtenido de este trabajo es la clasificación de filtros adecuados por los que se debe someter la imagen a procesar, de tal manera de obtener la información requerida.

Título: “Diseño de una arquitectura de un filtro digital de sobre muestreo de imágenes, en factor 2, de acuerdo al formato H.264/SVC sobre FPGA”

Institución: Pontificia Universidad Católica del Perú

Publicado en 2012

Autor: Christian Enrique Cano Salazar

El aporte obtenido de este trabajo es la utilización del software Matlab para el procesamiento digital de imágenes mediante operaciones básicas de matrices.

Título: “Visión Artificial: Análisis teórico del tratamiento digital de imágenes para su aplicación en la identificación de objetos”

Institución: Universidad Austral de Chile

Publicado en 2006

Autor: Weslly Ogier Jara Oyarzo

El aporte obtenido de este trabajo los pasos a seguir para la identificación y reconocimiento de objetos (figuras geométricas) de una imagen.

### **1.3. Formulación del problema**

¿De qué manera se reducirán los reclamos por faltantes de varillas registrados en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. ubicada en Chimbote?

### **1.4. Objetivos del estudio**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el proceso actual conteo de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación

Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

- Identificar las etapas del sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.
- Identificar los requerimientos físicos del sistema de procesamiento digital de imágenes para realizar un conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.
- Estimar los costos requeridos para el sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.
- Validar el sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" del área de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

## **1.5. Formulación de hipótesis**

### **1.5.1. General**

Mediante un sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8" se reducirán los reclamos registrados en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

### **1.5.2. Variables**

#### **1.5.2.1. Variable Independiente**

Sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8"

#### **Indicador de variable independiente:**

- Número de varillas
- Tiempo de respuesta del sistema

#### **1.5.2.2. Variable Dependiente**

Reducción de reclamos registrados en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

#### **Indicador de variable dependiente:**

- Número de reclamos



## **1.6. Justificación del estudio**

### **1.6.1. Justificación social**

El presente trabajo de investigación para el desarrollo de un sistema de conteo automático de barras de construcción se justifica en el cuidado de la salud de los colaboradores que se encuentran expuestos al calor de las varillas y sufren de inflamación constantemente.

### **1.6.2. Justificación económica**

La justificación del presente trabajo de investigación radica en el dinero que se ahorrará evitando los reclamos y gasto de envío de acciones correctivas.

### **1.6.3. Justificación académica**

El presente trabajo de investigación se justifica porque permite desarrollar un diseño mediante procesamiento digital de imágenes aplicada a reconocimiento de barras de construcción que servirá como modelo para estudios posteriores.

# CAPÍTULO II

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Visión artificial**

Como menciona Monsó J. (2004), visión artificial engloba a cualquier óptico mediante el cual un sistema puede ser capaz de extraer información de un entorno; usa técnicas provenientes de la óptica, de la electrónica y del procesamiento de señales y es por eso que, en un sistema de visión artificial, la cámara, sustituye al ojo humano y debe ser capaz de reconocer imágenes que previamente han sido parametrizadas de diversas formas, como la presencia o ausencia de objetos, medir dimensiones físicas, reconocerlos, etc.

### **2.2. Modelo físico de la luz**

Según el Departamento de Informática de la Universidad Politécnica de Valencia (2012) la teoría del modelo onda – corpúsculo, se tiene que la luz se comporta de forma corpuscular y considera estas principales características:

#### **2.2.1. Distribución Espectral de Energía**

Es la representación de la cantidad de energía asociada a cada longitud de onda. Se mide en Vatios (W.)

#### **2.2.2. Flujo Radiante**

Cantidad de energía emitida en un tiempo determinado por una fuente de ondas electromagnéticas. Medida en Vatios (W.)

#### **2.2.3. Flujo Luminoso**

Es la parte detectada por el ojo del flujo radiante. Su unidad de medición es el Lumen.

#### **2.2.4. Intensidad Luminosa**

Es la cantidad de flujo luminoso emitido por unidad de ángulo. Se mide en Bujía (lumen/estererorradián)

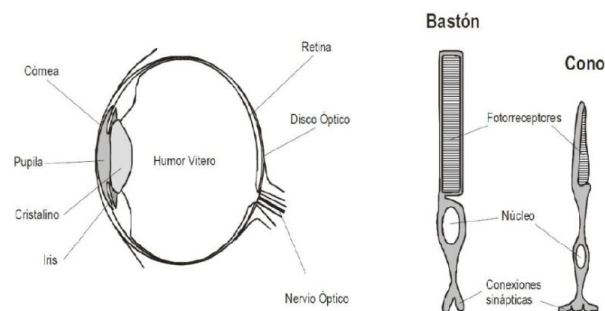
### 2.2.5. Luminancia (Brillo)

Representa la intensidad luminosa por área.

## 2.3. Modelo Fisiológico de la luz

Para Puell, A (2009) a nivel fisiológico, en el ser humano, el ojo es el órgano encargado de capturar y transformar la luz para luego transmitirlo al cerebro. El cerebro procesará la información y generará las reacciones a estos tipos de estímulos, o lo que también es llamado como sensaciones.

Para poder lograr esto, en el interior del ojo se tiene dos tipos de células fotorreceptoras, las cuales son diferenciadas de acuerdo a su forma. Unas son llamadas bastones y las otras son llamadas conos.



*Figura 2.1. El ojo, fuentes fotorreceptoras*

*Fuente: [www.uco.es](http://www.uco.es)*

### 2.3.1. Percepción Acromática

La percepción acromática está referida a la percepción del brillo. Las células llamadas bastones son las que tienen la capacidad de detectar y medir el brillo de los haces luminosos que llegan a la retina.

En la percepción del brillo, se presentan dos fenómenos:

#### 2.3.1.1. La sensibilidad a la intensidad

Este fenómeno permite distinguir un nivel de intensidad de otro. En el ser humano, cuando se presentan más de 24 tonalidades o intensidades se pierde esta sensibilidad. El término contraste, es la diferencia de intensidad.

#### **2.3.1.2. La inhibición lateral**

Este fenómeno se manifiesta como perturbaciones en las fronteras de cambio de intensidad, al detectar un nivel de intensidad.

#### **2.3.2. Percepción Cromática**

La percepción cromática está referida a la percepción del color. En la retina del ojo humano, las células llamadas conos son las encargadas de detectar este fenómeno. Ellas son capaces de variar su comportamiento según la longitud de onda que reciben del exterior. Con esta información, el cerebro elabora la sensación de color. Se sabe que existen tres tipos de conos:

- S (Short, sensibles a ondas de longitud corta, luz azul)
- M (Médium, sensibles a ondas de longitud corta, luz verde)
- L (Large, sensibles a ondas de longitud corta, luz roja)

Entonces, la sensación de color se relaciona con la energía contenida en cada una de las diferentes longitudes de onda. Esto se explica con las definiciones de:

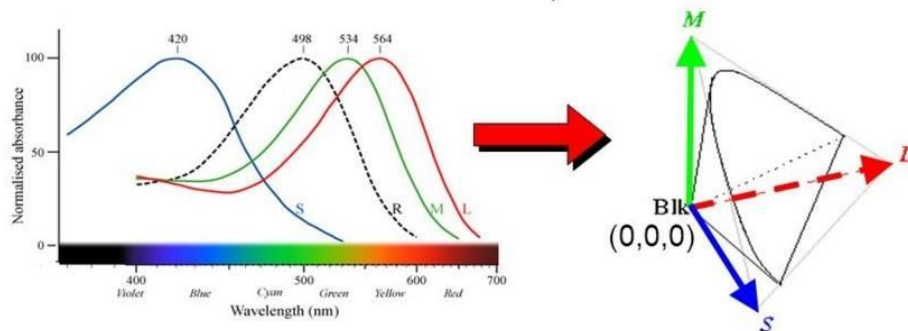
- Matiz: Conocido como tono, depende de la longitud de onda dominante, esto es porque los colores son resultados de numerosas longitudes de ondas.
- Saturación: propagación existente entre la longitud de onda dominante y el resto de longitudes de ondas comprendidas en la densidad espectral

#### **2.3.3. Diagrama Cromático y Teoría Tri-estímulo**

La teoría Tri-estímulo, parte de la consideración de que todos los colores existen a partir de una combinación de tres tipos de receptores (una combinación de rojo, verde y azul). Aunque se conoce que, a partir de la mezcla aditiva (una simple suma) de luz roja, verde y azul se pueden obtener una amplia gama de colores, también se sabe que no es posible obtener una de las tonalidades que el ojo humano distingue, solamente empleando una mezcla aditiva.

Como se observa en la figura 2.2. el modelo tri-estímulo es un espacio 3D donde cada dimensión corresponde al nivel de excitación de cada tipo de cono (S,M,L). Por esto, es el modelo más cercano al funcionamiento fisiológico de la percepción humana de color.

Siguiendo la teoría Tri-estímulo, y para dar solución a sus limitantes, se tiene el concepto de Diagrama Cromático, que evidencia el hecho de que todos los colores no pueden ser obtenidos a partir de la suma del rojo, verde y azul (esto porque ninguna combinación cubre toda la superficie)



*Figura 2.2. El modelo tri-estímulo*

*Fuente: [www.wikipedia.org/wiki/color](http://www.wikipedia.org/wiki/color)*

El diagrama cromático se denomina completo, porque contiene todos los colores, pues no puede existir color alguno más allá de los colores espectrales (dado que estos se encuentran en el límite de esta área)

El Diagrama Cromático presentado en la figura muestra lo siguiente:

- Todos los colores reales, están representados en el área del plano XY.
- En la curva exterior (parecida a una herradura) se presenta los colores de radiaciones espectrales puras. Los colores compuestos (menos saturados) están en el interior del diagrama.
- En la parte inferior, se tiene una recta que une los extremos azul y rojo. También llamada como Línea de Purpuras.
- En la parte central, en las coordenadas  $x=1/3$ ,  $y=1/3$  se encuentra el blanco.
- La coordenadas cromáticas (x, y) se obtiene a partir de las potencias contenida en cada longitud de onda.

- El diagrama cromático es no lineal, por ello, una misma magnitud de distancia entre diferentes partes del diagrama cromático, no representa la misma diferencia visual.

Debido a la forma del diagrama cromático, queda completamente explicado porque no es posible obtener todos los colores visibles a partir de la adición del rojo, verde y azul (ninguna combinación de estos tres colores cubre toda el área del diagrama cromático).

Considerando que en el diagrama cromático es de carácter no lineal y que en él, se incluye todos los colores posibles; se establecieron, para permitir una descripción específica de todos los colores dentro de cierta gama particular, los llamados Espacios de Color.

## **2.4. Adquisición de imágenes**

Los elementos indispensables para la adquisición de imágenes son los siguientes:

### **2.4.1. Cámara Industrial**

En el área industrial, una cámara digital presenta características como: mayor robustez y mejor calidad de controladores. Esto es necesario por el ambiente en el cual se va a desenvolver, además para procesos de visión artificial, se requiere de equipos que cuenten con facilidad de conexión al PC o al sistema de procesamiento de imágenes.

#### **2.4.1.1. Tipo de sensores de imagen**

El sensor de imagen de una cámara se encarga de la captación de imágenes, mediante la transformación de la luz en señales eléctricas, estos sensores van modificando la señal eléctrica que entregan, en función de la intensidad luminosa que percibe.

Existen, principalmente, dos tipos de tecnologías de sensor de imagen muy usadas:

- CCD (Dispositivo de acoplamiento de carga): Desarrollados específicamente para la industria de cámaras digitales.
- CMOS (Semiconductor de óxido metálico complementario): basado en la tecnología empleada para unidades de memoria de un PC.

Como se observará en la figura 2.3 en la profundización posterior, un pixel (físico) está conformado por una celda monocromática del filtro Bayer (filtro de detección de color en arreglo Rojo, Verde, Verde y Azul). El particular arreglo de este filtro obedece a la capacidad del ojo humano de ver tonos verdes; de tal manera que, luego de haber sido tomada la fotografía, ésta pasa por un proceso de interpolación cromática que da a lugar a la generación de los pixeles faltantes en base a los vecinos más cercanos.

#### A. CCD

En la tecnología CCD, la señal eléctrica que transmiten los fotodiodos es una función de la intensidad luminosa que reciben y el tiempo de integración. Características representativas de la tecnología CCD:

- Capturas a muy alta velocidad.
- Registro a distancias mayores a un metro.
- Mayor sensibilidad a la luz; razón por la cual se que obtienen mejores imágenes en situaciones de luz escasa.
- Susceptible de pérdidas por efecto de la presencia de objetos luminosos (fenómeno de mancha o smear).

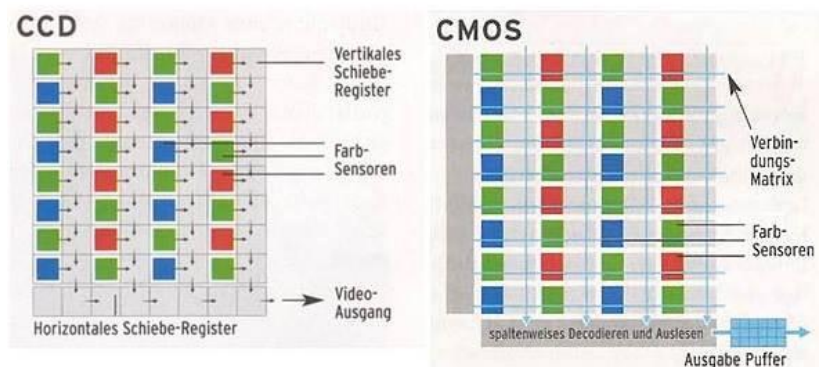
#### B. CMOS

Aunque los CMOS han mejorado en los últimos años, aún no ofrecen una alta calidad de imagen, es por eso que son inadecuados para situaciones donde se exige una máxima calidad de imagen. Características representativas de la tecnología CMOS:

- Facilitan la producción de cámaras de reducido tamaño.



- Cuentan con menor sensibilidad a la luz; por lo que en situaciones de escasa luz, se obtiene una imagen muy oscura.
- Son dispositivos de bajo costo (comparados con la tecnología CCD).
- Presenta auto-adaptación al brillo existente en el entorno.



*Figura 2.3. Tipos de tecnologías de sensores de imágenes.*

*Fuente: [www.chip.de](http://www.chip.de)*

#### **2.4.1.2. Resolución**

La resolución de una imagen está vinculada al nivel de detalle que se puede apreciar en esta. Por eso, tener una mayor resolución es equivalente a obtener una imagen de mayor calidad visual.

En imágenes digitales, la resolución se describe con dos números enteros: el primero es la cantidad de columnas de píxeles y el segundo es la cantidad de filas de píxeles.

La importancia de la resolución de una imagen dentro del campo de la visión por computador radica en que será determinante para la selección de la tecnología y arquitectura del sensor de imagen. Por ello, la arquitectura de sensores de imagen se puede clasificar así:

- Sensores Lineales: Con resolución de 1x1024, 1x2048, 1x4096.
- Sensores de Área: Cuenta con una resolución habitual de 1024x1024. También existen sensores especiales con resolución de 3072x2048.

### 2.4.2. Lente óptico

Para Salazar, Marco (2014) el lente óptico es el ojo de una cámara digital, es un objeto transparente conformado por dos superficies, en donde al menos una es curva. La finalidad de un lente óptico es enfocar los rayos de luz sobre el sensor de imágenes, para así poder obtener una imagen. El material usado para la construcción de un lente óptico es llamado vidrio óptico, que está compuesto por productos químicos como el óxido de bario, lantano y Tántalo. Así como se puede ver en la figura 2.4



Figura 2.4. Lente óptico.

Fuente: Visión por computadora. Robledo, I.

Por otro lado, dentro de un sistema de visión por computador, es crucial el proceso de adquisición de imagen; aquí, es donde está presente el lente óptico.

Esto es así, porque es mucho más eficiente obtener una buena imagen inicial (mayor calidad del lente óptico) que intentar mejorar la imagen obtenida mediante pre-procesamiento. Pues pueden presentarse posibles pérdidas de información en la imagen, degradación de la imagen o limitaciones en la capacidad de cálculo del sistema, cuando se intenta corregir la imagen inicialmente obtenida.

## 2.5. Sistema de iluminación

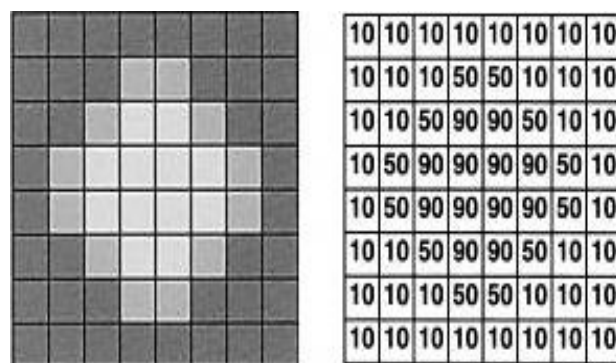
La iluminación es un problema central en el desarrollo de sistemas de visión por computador, ya que esta garantiza un óptimo resultado en la operación del sistema, pues evita que los algoritmos desarrollados se vean afectados por trabajar en condiciones de escasa luz.

Es por esta razón, que se busca una iluminación adecuada para la aplicación del sistema de visión por computadora, pues así se podrá lograr independizar las condiciones del entorno y resaltar los rasgos de interés de la escena de la imagen.

Muchos sistemas de visión por computador se han visto limitados por problemas en su sistema de iluminación, pues al no controlar apropiadamente la iluminación de la escena, obtienen una pobre calidad de la imagen digital.

## 2.6. Imagen digital

La digitalización de una imagen consiste en el proceso de conversión de una señal continua de dos dimensiones en una señal discreta de dos dimensiones. Realizar este proceso significa realizar dos subprocesos: muestreo y cuantificación. Para A. Covington (2009), la imagen digital consiste, en esencia, en una matriz que representan niveles de brillo. Tal como se muestra como ejemplo en la figura 2.5.

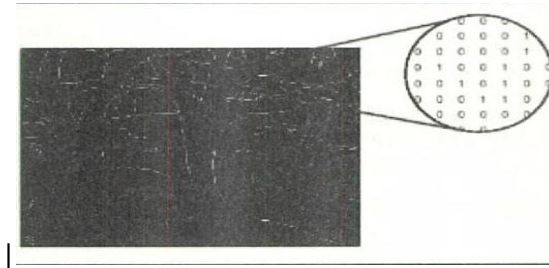


*Figura 2.5. Imagen digital*

*Fuente: Astrofotografía con cámaras digitales, A. Covington*

## 2.7. Imagen binaria

Esqueda, José (2005), menciona que en una imagen binaria, cada pixel asume un valor discreto; esencialmente dichos valores corresponden a 1 o 0, encendido o apagado. Una imagen binaria se almacena en un arreglo de píxeles 1s o 0s. Así como se muestra en el ejemplo de la figura 2.2.



*Figura 2.6. Imagen binaria*

*Fuente: Fundamentos para el procesamiento de imágenes, Esqueda*

Una imagen binaria puede ser considerada una clase especial de imagen de intensidad, contenido sólo los valores correspondientes al negro y al blanco.

## 2.8. Imagen en escala de grises

Cuando las imágenes sólo tienen información sobre el brillo (ver Figura 2.18), se habla de imágenes en niveles de gris y se suelen utilizar hasta 256 niveles para representar los tonos intermedios desde el negro (0) hasta el blanco (255). De esta manera se pueden representar los diferentes componentes que conforman una imagen.

## 2.9. Procesamiento digital de imágenes

Para Passareillo, G. (2005) cuando se habla de procesamiento digital de imágenes, se hace referencia general, al procesamiento bidimensional mediante un computador. Como se ve en la figura 2.8. la imagen real pasa por una serie de transformaciones que van desde la adquisición hasta la visualización, pasando por etapa como almacenamiento, procesamiento, etc.

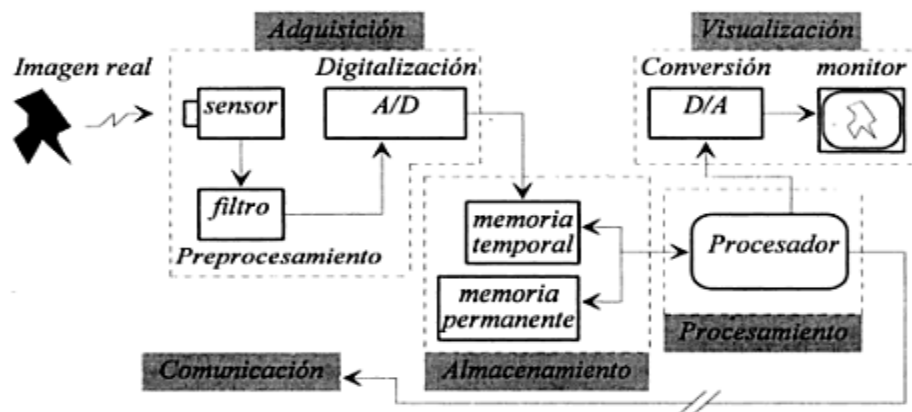


Figura 2.7. Procesamiento digital de imágenes

Fuente: Imágenes médicas, Passareillo G.

## 2.10. Relación entre píxeles

En este punto se presentarán algunas relaciones básicas e importantes entre los píxeles que son parte de una imagen digital; para lo cual se debe saber que la forma de representación de una imagen es  $f(x,y)$ ; y que, un pixel específico será representado mediante las letras minúsculas “p” y “q”.

### 2.10.1. Relación de vecindad

Considerando la posición y el valor de los píxeles, se definen relaciones de vecindad y de conectividad

Para todo pixel “p” de coordenadas (x,y) se tiene:

- Vecinos horizontales y 4 verticales de “p” (Puntos A)
  - 4 - vecinos de “p” (  $N_4(p)$  )
  - $(x-1, y), (x, y-1), (x+1, y), (x, y+1)$
- Vecinos diagonales de “p” (Puntos B)
  - D - vecinos de “p” (  $N_D(p)$  ):
  - $(x-1, y-1), (x-1, y+1), (x+1, y-1), (x+1, y+1)$
- 8 vecinos de “p” (Puntos A y B)
  - 8 - vecinos de “p” (  $N_8(p)$  ):
  - $(x-1, y), (x, y-1), (x+1, y), (x, y+1),$
  - $(x-1, y-1), (x-1, y+1), (x+1, y-1), (x+1, y+1)$

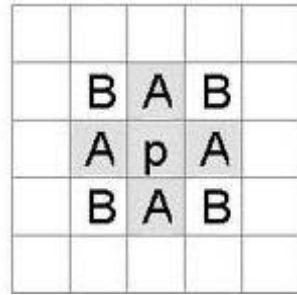


Figura 2.8. Vecindad del pixel "p"

Fuente: mathworks.com

### 2.10.2. Conectividad

La conectividad entre píxeles es un concepto empleado para establecer los límites de los objetos. La conexión entre dos píxeles se produce cuando se cumple adyacencia. Existen tres tipos de conectividad.

### 2.10.3. Etiquetado

El etiquetado de imágenes es la agrupación de píxeles (objetivo) con características similares. Este proceso se emplea para poder obtener información relevante y poder extraer aquella información de interés.

Para poder usar el proceso de etiquetado se debe realizar lo siguiente:

- Aplicar un proceso de binarización, previo a analizar la imagen.
- Elegir un tipo de conectividad (4 - conectividad, 8 - conectividad, m - conectividad) para establecer un criterio de evaluación de detección de objetos.
- Colocar la misma etiqueta a cada uno de los píxeles que conforman el objeto, tras la detección de este objeto al cumplir con el criterio de conectividad.

### 2.10.4. Distancia entre píxeles

En el procesamiento de imágenes, se suele emplear el concepto de distancia para obtener información detallada. Entonces, sea que  $p(x,y)$  y  $q(s,t)$  son dos píxeles distintos.  $d$  es una función de distancia.

#### **2.10.4.1. Tipos de distancia**

La distancia euclídea entre “p” y “q” es la raíz cuadrada de la diferencia de coordenadas al cuadrado.

$$d_{(p,q)} = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

#### **2.10.5. Operaciones Artimético – Logicas entre píxeles**

Las operaciones aritmético-lógicas son operaciones aplicadas directamente sobre los píxeles. Son usadas dentro de un sistema de procesamiento de imágenes porque permiten leer y dar valores a los píxeles de una imagen. Considere a los píxeles “p” y “q”.

##### **2.10.5.1. Conjunción**

Se aplica la operación lógica AND (p AND q) en los píxeles de dos imágenes binarias. Permite borrar píxeles en una imagen.

##### **2.10.5.2. Disyunción**

Se aplica la operación lógica OR (p OR q) en los píxeles de dos imágenes binarias. Facilita añadir píxeles a una imagen.

##### **2.10.5.3. Negación**

Se aplica la operación lógica NOT (NOT p) en los píxeles de una imagen binaria. Es usada para obtener el negativo.

##### **2.10.5.4. Adición**

Sumatoria de los valores de los píxeles de dos imágenes (p+q). Permite reducir el ruido.

#### 2.10.5.5. Sustracción

Diferencia de los valores de los píxeles de dos imágenes ( $p-q$ ). Permite eliminar el fondo estático

### 2.11. Segmentación de la imagen

#### 2.11.1. Histograma: Thresholding

Según Cuevas A. (2012) el histograma es una representación gráfica de la cantidad de píxeles que hay de cada tonalidad de color de la imagen. En una imagen en tonos de gris se obtiene un diagrama de barras como se puede visualizar en la figura 2.9, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de aparición de cada tonalidad de gris. En una imagen de ocho bits obtenemos un total de 256 distintos valores, donde la primera posición representa al negro y la última al blanco.



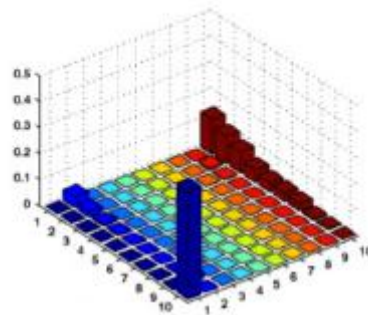
*Figura 2.9. Histograma de una imagen en blanco y negro*

*Fuente: Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real, Rossius, S*

El histograma de color, muchas veces es representado como la unión de los histogramas de cada componente de color de la imagen RGB. Esta representación no es del todo acertada, ya que no se tiene en cuenta la tonalidad de color en concreto, sino cada uno de sus tres componentes. El verdadero histograma de color como el que se ve en



la figura 2.10 es una representación tridimensional de todas las tonalidades de color que aparecen en la imagen. El histograma por lo tanto ahora está compuesto por cubitos que dan información acerca de la frecuencia de aparición de cada tonalidad.



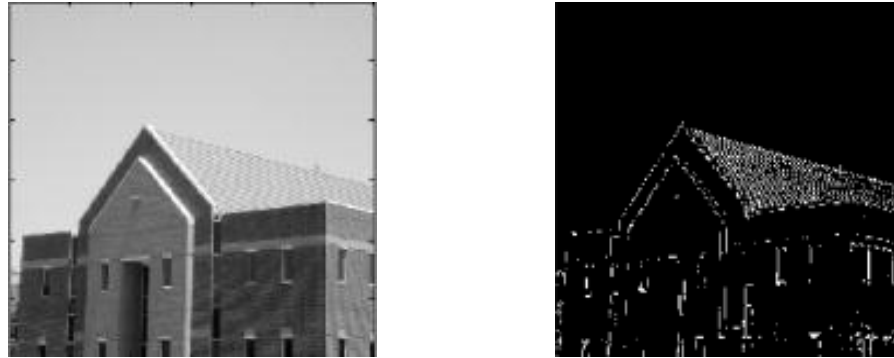
*Figura 2.10. Representación 3D de un histograma de color*

*Fuente: Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real,  
Rossius, S*

Dado un histograma perteneciente a una imagen cuyo color de fondo es claramente distinto a la tonalidad del objeto, podemos identificar fondo y objeto en dos regiones dominantes. Para diferenciar fondo y objeto resulta obvio seleccionar una frontera que divida ambas regiones mediante un umbral. Todo valor superior o inferior a cierto umbral pertenecerá o bien al objeto, o bien al fondo.

### **2.11.2. Segmentación mediante detección de bordes**

Para Rossius S. (2013) los bordes de una imagen digital se pueden definir como transiciones entre dos niveles de gris significativamente distintos. Para ello se emplean diferentes aproximaciones discretas de la primera y la segunda derivada de los niveles de gris. Cuanto mayor sean las variaciones existentes entre dos regiones fronterizas en la imagen, mayor es el valor de la primera derivada. El vector gradiente apunta a la dirección donde la variación es máxima y su módulo es proporcional con el valor de esta variación. La derivada parcial del eje "X" e "y" e puede aproximar por la diferencia de pixeles adyacentes de la misma fila o columna, respectivamente. En la figura 2.11 se logra ver la segmentación mediante borde de una imagen.



*Figura 2.11. Imagen resultante de la segmentación mediante borde de una imagen.*

*Fuente: Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real, Rossius, S*

### **2.11.3. Segmentación basada en el conectividad**

Otra técnica de segmentación por similitud que considera Rossius S. (2013), es aquella basada en la conectividad espacial que pueden presentar los píxeles en una imagen. Dos píxeles vecino si tiene en común por lo menos una frontera o una esquina, según tipo de vecindad. Se les llama vecinos directos a aquellos que comparten sus fronteras, y vecinos indirectos si comparten esquina. Un conjunto de píxeles cumple el criterio de vecindad si cumple entre ellos con un criterio de similitud establecido. Recorriendo la imagen pixel por pixel, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, se etiqueta cada conjunto de píxeles vecinos con un identificador distinto. En la figura 2.12. se logra visualizar el resultado de una imagen sometida a vecindad.



*Figura 2.12. Imagen resultante de filtro vecindad*

*Fuente: Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real, Rossius, S*

## 2.12. Procesamiento morfológico

Para Rossius S. (2013) existe una variedad de filtros como los que se ven en la figura 2.13. a los que se puede someter una imagen y de esa manera extraer información valiedera, por lo que los clasifica de la siguiente manera:

- *Dilatación:* Resultado de comprobar que el elemento estructurante esté al menos contenido en un pixel de un conjunto de pixeles. Si se cumple lo anterior, se pone a uno el pixel central. Con ello se consigue una expansión del objeto en su región fronteriza y un cierre de todas las discontinuidades menores que el elemento estructurante.
- *Erosión:* Resultado de comprobar si el elemento estructurante está completamente contenido en un conjunto de pixeles. Si algún píxel por vecindad no cumple con la limitación impuesta por el elemento estructurante, se pone a cero el pixel central. La consecuencia es una disminución del área del objeto sobre el cual se ha aplicado, así como la desaparición de todos los elementos más pequeños que el elemento estructurante.
- *Apertura:* es la aplicación de una erosión seguida de una dilatación, que al aplicarla, se vuelve a expandir los objetos a su tamaño inicial menos aquellos pixeles previamente eliminados por la erosión.
- *Cierre:* Aplicación de una dilatación seguida de una erosión, la cual, permite cerrar agujeros y grietas, y la expansión de los píxeles es parcialmente invertida tras aplicar una erosión.



*Figura 2.13. Proceso de dilatación y erosión*

*Fuente: Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real,  
Rossius, S*

### **2.13. Matlab**

Como menciona Gilat, Amos (2005) Matlab: “Es un potente lenguaje diseñado para la computación técnica; el cual gestiona datos tipo matriz. Es una herramienta utilizada habitualmente en investigación, desarrollo y diseño de prototipos, del mismo modo, incorpora otras librería específicas llamadas toolboxes que son colecciones de funciones especializadas y diseñadas para resolver problemas muy específicos.”

### **2.14. Redes de comunicación**

A. Tanenbaum (2007), afirma que “en principio una red se puede definir como una serie de estaciones (nodos) o equipos interconectados entre sí, para tener información más común disponible en uno, varios o cada uno de los dispositivos de red.

Por tanto, las redes industriales son redes conformadas por equipos de control, tales como: PC's Industriales, controladores, Sistemas de Control Distribuido, Transductores y Actuadores, Módulos Inteligentes, Interfaces de Operador. Los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área”

#### **2.14.1. Jerarquía de comunicaciones**

##### **2.14.1.1. Nivel de Entrada /Salida**

Es el nivel más bajo de la red donde se conectan los dispositivos de adquisición de los datos en campo tales como: sensores, interfaces de operador, electroválvulas, controladores, etc.

##### **2.14.1.2. Nivel de Control**

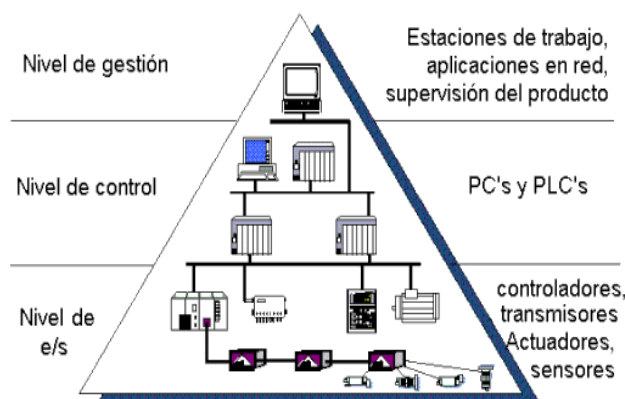
Aquí se encuentran los protocolos que permiten conectar los elementos que realizan el control en la industria, tales como PLC's, Sistemas de control distribuidos básicos (DCS's) y algunos PC's industriales usados para la ejecutar el control del proceso exclusivamente.

#### 2.14.1.3. Nivel de Gestión

Este nivel se conoce como nivel de información, en donde se conectan directamente DCS's, algunos PLC's con procesadores avanzados y estaciones de trabajo para realizar el control y supervisión del proceso. Se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples factorías. Las maquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventanas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN o WAN.

Este nivel maneja protocolos de comunicaciones estándares, tales como Ethernet, a diferencia de los niveles anteriores en donde los protocolos de red son propietarios, requiriéndose en la mayoría de las aplicaciones interfaces adicionales.

Cada uno de los niveles desarrollados líneas arriba se presenta en la figura 2.14.



*Figura 2.14. Jerarquía de las redes industriales*

*Fuente: Oliva. N (2013)*

#### 2.14.2. Clasificación de redes de comunicación

Según J. Peña, J. Caro, A. Saldaña, H. Martínez (2003), por el área que abarca un sistema de comunicación en particular, las redes pueden clasificarse en cinco categorías básicas:

#### **2.14.2.1. Redes de área extensa (WAN)**

Abarcan áreas geográficas extensas como ciudades, provincias o países. Son denominadas también redes de área amplia.

#### **2.14.2.2. Redes de área metropolitana (MAN)**

Se extienden hasta unos 50 kilómetros, operan a velocidades entre 1 Mbit/s y 200 Mbit/s y proporcionan servicios de voz, datos e imágenes.

#### **2.14.2.3. Redes de área local (LAN)**

Confinadas en empresas o industrias, permiten la conexión a alta velocidad de equipos y sistemas informáticos para la compartición de recursos.

#### **2.14.2.4. Buses de campo**

Son redes mayoritariamente utilizadas en entornos industriales y de factoría, cuyo objetivo es el de interconectar elementos de uso común en la industria como autómatas programables, sensores y actuadores de planta, ordenadores personales o industriales, etc., a elevadas velocidades utilizando protocolos no excesivamente complejos.

#### **2.14.2.5. Redes de área personal**

Localizadas en pequeños entornos de trabajo personales, permiten la conexión a velocidad media de una serie de equipos informáticos (generalmente limitados) para la transmisión de información entre estos, como ficheros de texto, audio, etc., utilizando comúnmente transmisiones vía radio.

### **2.14.3. Estructuras básicas de redes**

Según N. Oliva (2013), la topología de la red describe la manera en que se conectan los dispositivos participantes en la comunicación. Se analizan distintas topologías que difieren según criterios de disponibilidad, redundancia o expansibilidad. Las topologías básicas son estrella, anillo y bus.

En una red se pretende el enlace de dos o más dispositivos a través de un medio de transmisión con el objetivo de intercambiar información. En el caso de un bus de campo (fieldbus), es decir, de una red diseñada para unir la instrumentación a pie de proceso, el enlace se realiza principalmente mediante hilos de cobre, aunque también son posibles los enlaces mediante fibra óptica o con sistemas de telecomunicación (vía radio). La elección del medio de transmisión viene condicionado a menudo por las características de los dispositivos conectados, por las condiciones ambientales de trabajo de estos elementos y por el volumen y velocidad de los datos que se deben comunicar.

#### **2.14.3.1. Estructura en estrella**

En una estructura en estrella, toda la información se canaliza mediante un dispositivo de control central, como por ejemplo un ordenador de proceso. Cada participante dispone de su propia línea de enlace y de un punto de conexión con el controlador central (denominado nodo).

Los participantes o dispositivos periféricos intercambian los datos a través del controlador central. Esta topología tiene la ventaja de que cuando una de las líneas está sujeta a interferencias, sólo el dispositivo conectado a ella queda afectado. Además, cualquiera de las líneas que constituyen las ramas de la estrella puede activarse o desactivarse en cualquier momento sin incidir sobre el funcionamiento normal de la red.

El intercambio de información se produce de manera controlada por el dispositivo central. Siguiendo un criterio previamente establecido, éste dialoga periódicamente con los distintos dispositivos periféricos y les recoge o transfiere la información objeto de intercambio. En la figura 2.15, se representa gráficamente el modelo de una red con una topología estrella.



Figura 2.15. Topología de red – estrella

Fuente: N. Oliva (2013).

#### 2.14.3.2. Estructura de bus

En una estructura en bus, todos los dispositivos se conectan a una sola línea de datos, llamada bus, por medio de la cual se transmite la información. Una estructura con varias ramas en bus recibe el nombre de estructura árbol. En una estructura en bus se puede permitir la comunicación cruzada entre cualquiera de los dispositivos.

Como que todos los participantes están conectados a la misma línea, la transmisión debe ser estrictamente regulada. Cuando la red en bus es controlado por un único maestro, este autoriza de forma secuencial la participación de los dispositivos participantes. Si, por el contrario, varios periféricos pueden actuar como maestros, estos pueden tomar la iniciativa de transmitir en cualquier momento y en consecuencia, será necesario disponer de un método de arbitraje del bus para solventar las colisiones que se producen.

En la estructura en bus no es necesario realizar ninguna modificación en la interfaz hardware de los periféricos conectados al añadir un nuevo participante. En la figura 2.16, se representa gráficamente el modelo de una red con una topología bus.



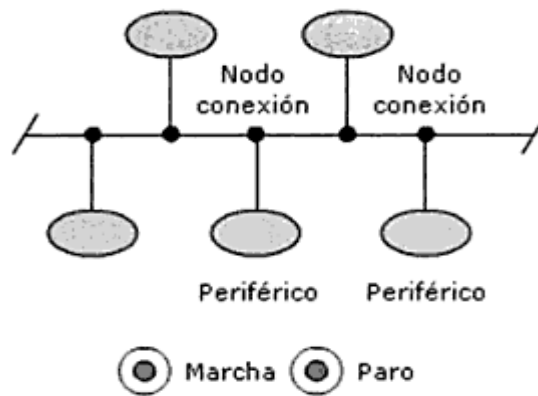


Figura 2.16. Topología de red - bus

Fuente: N. Oliva (2013).

### 2.14.3.3. Estructura en anillo

En una estructura en anillo, la información se transmite de dispositivo a dispositivo sin la intervención de ningún dispositivo de control central. Cada dispositivo asume el papel de controlador durante un intervalo estrictamente predefinido, no existiendo, teóricamente, ningún límite en el número de dispositivos participantes.

La comunicación en anillo presenta un problema estructural; si uno de los dispositivos participantes se avería, la transmisión de la información se interrumpe y el enlace deja de ser operativo. Para evitar este inconveniente se suelen disponer unos interruptores de desviación (bypass) que entran en funcionamiento, anulando el dispositivo, cuando se detecta un fallo en el participante. Estos interruptores también se utilizan cuando se procede a la sustitución o inserción de algún otro dispositivo en la red.

Una variación de la estructura en anillo es el denominado anillo lógico, en el cual los periféricos se conectan a un bus de comunicaciones. A todos y cada uno de los participantes se les asigna una dirección lógica que establece y determina el orden en que deben tomar, durante un período de tiempo concreto, el control de las comunicaciones. El conjunto de dirección marca un turno rotatorio de intervención que se cierra por los extremos entre el participante de dirección más baja y el de dirección más

alta. En la figura 2.17, se representa gráficamente el modelo de una red con una topología anillo.

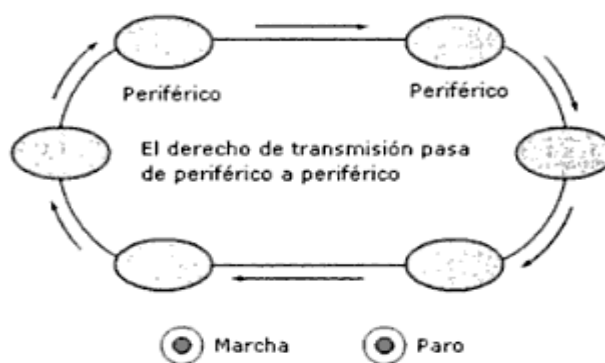


Figura 2.17. Topología de red - anillo

Fuente: N. Oliva (2013).

#### 2.14.4. Medios de transmisión

Para transportar la información es necesario un camino físico entre los extremos que se denomina medio de transmisión. Como afirma N. Oliva (2013), los medios de transmisión se clasifican en guiados y no guiados.

##### 2.14.4.1. Medios guiados

En un medio guiado las señales se confinan en un medio sólido, como por ejemplo: un par trenzado, un cable coaxial o una fibra óptica; según afirma N. Oliva (2013).

##### A. Par trenzado

El "par trenzado" consiste en dos cables aislados y trenzados. La principal propiedad del trenzado es que reduce las interferencias electromagnéticas, pues, al inducirse por igual en los dos pares, su efecto tiende a anularse si se utilizan modos de transmisión diferencial. Al no ser totalmente inmune se pueden producir problemas si, por ejemplo, corre paralelo a una línea de 50 Hz. Los pares adyacentes pueden producir efecto "crosstalk" (cruce de líneas). Al aumentar la frecuencia se puede decir que el conductor hace de "antena", es decir, disipa energía al exterior en forma de ondas electromagnéticas.

Por otro lado, un aumento de velocidad de transmisión (aumento de la frecuencia de la señal transmitida) produce el efecto "skin". La corriente tiende a circular por la periferia del conductor. Esto produce un aumento de resistividad eléctrica, con lo que la señal sufre mayor atenuación. Se comercializa sin apantallar identificándose por las siglas "UTP" (Unshielded Twisted Pair) o apantallado identificándose por "STP" (Shielded Twisted Pair). En la figura 2.18, se observa el hilo conductor y los dieléctricos presentes en un cable de par trenzado.

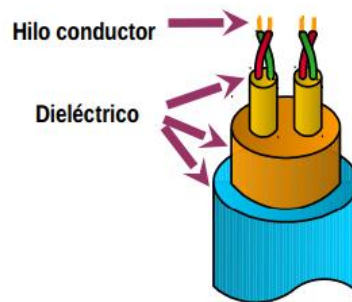


Figura 2.18. Cable de par trenzado

Fuente: [www.disca.upv.es](http://www.disca.upv.es)

### B. Cable coaxial

Consiste en dos conductores donde uno de ellos recubre al otro formando una pantalla. Entre los dos conductores hay un dieléctrico. Es menos susceptible a las interferencias que el par trenzado.

Para que una señal externa produzca una inducción tiene que pasar por el dieléctrico, por lo que tiene que ser muy grande para que le afecte. El cable es más grueso que en el par trenzado con lo que el efecto skin es mucho menor que en el par trenzado. Permite la transmisión tanto de información analógica como digital, en conexiones punto a punto y multipunto.

En función de la banda de trabajo se puede hacer conexiones de unos centenares de metros hasta decenas de kilómetros. En cuanto al coste por metro está entre el par trenzado y la fibra óptica.

En la figura 2.19, se observa cada uno de los elementos presentes en un cable coaxial.

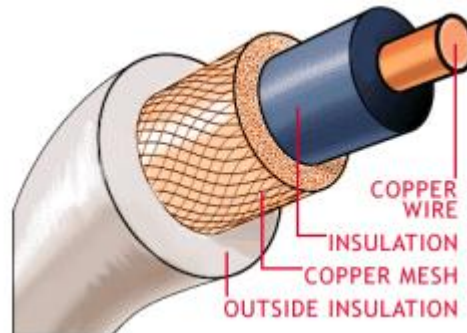


Figura 2.19. Cable coaxial

Fuente: [www.serbal.pntic.mec.es](http://www.serbal.pntic.mec.es)

### C. Fibra óptica

Se basa en el uso de un medio de plástico o vidrio capaz de transportar la luz. No le afectan las interferencias electromagnéticas, permitiendo alta fiabilidad. Es más caro que el par trenzado y el coaxial y los costes de instalación son altos. En la figura 2.20, se muestra el revestimiento, el núcleo de vidrio y la cubierta especial; elementos de la fibra óptica.

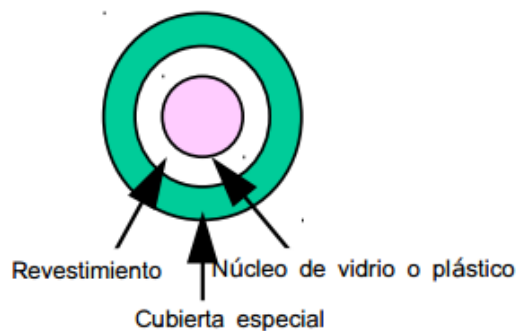


Figura 2.20. Fibra óptica

Fuente: [www.serbal.pntic.mec.es](http://www.serbal.pntic.mec.es)

Normalmente se usa en lugares en los que hay un alto nivel de ruido y en sitios donde la seguridad de la información a transmitir es muy importante (y es confidencial). Permite un ancho de banda elevado, tiene un tamaño y peso reducido, atenuación muy baja y constante en un amplio rango. Los rangos de velocidad de transmisión en cada uno de los tipos de fibra óptica, se muestran en la figura 2.21.

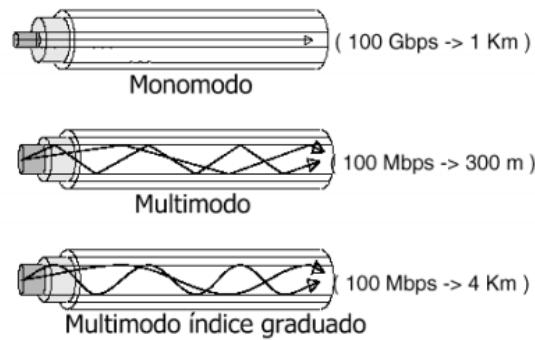


Figura 2.21. Tipos de fibra óptica

Fuente: [www.serbal.pntic.mec.es](http://www.serbal.pntic.mec.es)

#### 2.14.4.2. Medios no guiados

Los medios no guiados o sin cable han tenido gran acogida al ser un buen medio de cubrir grandes distancias y hacia cualquier dirección, su mayor logro se dio desde la conquista espacial a través de los satélites y su tecnología no para de cambiar. Según, N. Oliva (2013) de manera general se puede definir las siguientes características de este tipo de medios: a transmisión y recepción se realiza por medio de antenas, las cuales deben estar alineadas cuando la transmisión es direccional, o si es omnidireccional la señal se propaga en todas las direcciones.

##### A. Microondas terrestres

En un sistema de microondas se usa el espacio aéreo como medio físico de transmisión. La información se transmite en forma digital a través de ondas de radio de muy corta longitud (unos pocos centímetros). Pueden direccionarse múltiples canales a múltiples estaciones dentro de un enlace dado, o pueden establecer enlaces punto a punto. Las estaciones consisten en una antena tipo plato y de circuitos que interconectan la antena con la terminal del usuario.

Los sistemas de microondas terrestres han abierto una puerta a los problemas de transmisión de datos, sin importar cuales sean, aunque sus aplicaciones no estén restringidas a este campo solamente. Las microondas están definidas como un tipo de onda electromagnética situada en el intervalo del milímetro al metro y cuya propagación puede

efectuarse por el interior de tubos metálicos. Es en sí una onda de corta longitud.

Tiene como características que su ancho de banda varía entre 300 a 3000 Mhz, aunque con algunos canales de banda superior, entre 3.5 Ghz y 26 Ghz. Es usado como enlace entre una empresa y un centro que funcione como centro de conmutación del operador, o como un enlace entre redes LAN.

Para la comunicación de microondas terrestres se deben usar antenas parabólicas, las cuales deben estar alineadas o tener visión directa entre ellas, además entre mayor sea la altura mayor el alcance, sus problemas se dan perdidas de datos por atenuación e interferencias, y es muy sensible a las malas condiciones atmosféricas. Como se aprecia en la figura 2.22, las distintas formas de comunicación que usan las microondas terrestres.

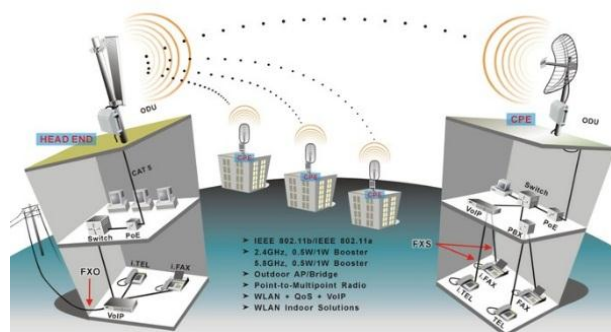


Figura 2.22. Microondas terrestre

Fuente: [www.luisyroceco.blogspot.com](http://www.luisyroceco.blogspot.com)

## B. Infrarrojo

Mediante este tipo de transmisión, el propósito es el de dar al equipo la posibilidad de realizar una comunicación punto a punto utilizando un enlace óptico al aire libre como medio de transmisión, con una longitud determinada, estando ésta dentro del infrarrojo.

El enlace óptico aquí tratado se fundamenta en una emisión de radiación infrarroja, vía aire, a diferencia del módulo anterior, en el cual la radiación luminosa emitida era conducida por el interior de la fibra. Esto comporta,

naturalmente, una mayor atenuación y una menor directividad. Se trata de un sistema clásico utilizado en muchos mandos a distancia. El módulo puede dividirse en dos grandes bloques: el transmisor y el receptor.

En la figura 2.23, se muestra los dispositivos que se pueden comunicar usando comunicación infrarroja.

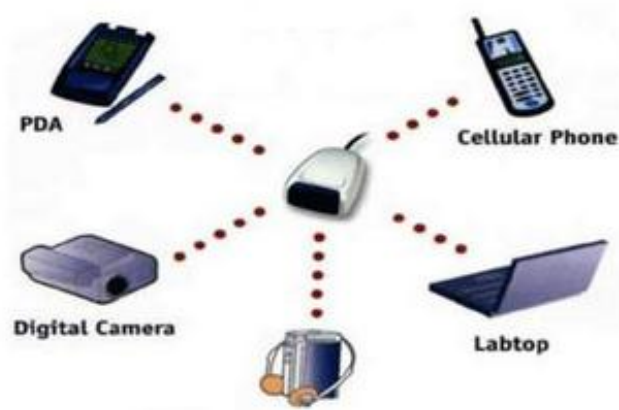


Figura 2.23. Comunicación infrarrojo

Fuente: [www.luisyrookeco.blogspot.com](http://www.luisyrookeco.blogspot.com)

### C. Bluetooth

Es una especificación industrial para redes Inalámbricas de Área Personal que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos.

### D. WI-FI

Es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en vez de cables.

#### 2.14.5. Modos de transmisión

Según A. Tanenbaum (2007), las técnicas de codificación de la información, la forma en que esta se arbitra y transmite por el medio, la corrección de errores en la transmisión y el conocimiento de los parámetros que determinan el rendimiento de la comunicación son la parte esencial al hablar de los modos de transmisión. Se entenderá por modo de transmisión al empleo de distintas técnicas de preparar la información y la forma en que esta es presentada en el medio de transmisión.

#### 2.14.5.1. Transmisión de la información

##### A. DTE

Equipo que genera o trata la información.

##### B. DCE

Equipo que se encarga de transferir la información al otro extremo de un sistema de comunicaciones.

En la figura 2.24, se muestra una red; usando equipo DCE y DTE.

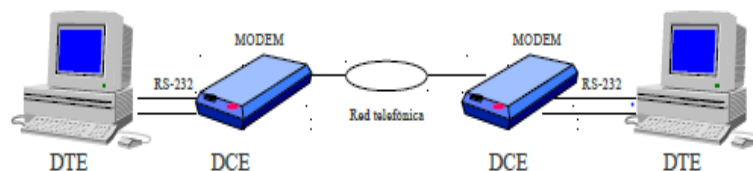


Figura 2.24. Equipos DTE y DCE

*Fuente: A. Tanenbaum (2007).*

#### 2.14.5.2. Comunicación serie y paralelo

##### A. Comunicación paralelo

Transmisión simultánea de todos los bits de un elemento base de información. Este hecho implica la disposición de tantos conductores como bits contenga el elemento base, lo que conlleva a una mayor complejidad del medio y redundancia en una mayor velocidad de transmisión. Esta técnica se utiliza con frecuencia en el enlace de equipos de laboratorio (distancias reducidas) y en ambientes de baja contaminación electromagnética. Ejemplos de este modo de transmisión se tiene en el paralelo Centronics (típico en la conexión de impresoras a PC) o en el IEC-635/IEE-488 (popular bus de conexión de instrumentos de laboratorio).

##### B. Comunicación serie

Con independencia del código, tipo de transmisión, velocidad, etc., los datos son transferidos bit a bit, utilizando un único canal. Es la



forma normal de transmitir datos a largas distancias. Ejemplos de este modo de conexión son las populares interfaces RS-232 y RS-485.

#### **2.14.5.3. Modulación**

Según S. Caprile (2009), la inmensa mayoría de equipos DTE procesan datos y obtienen resultados en formato digital, pero estos deben ser comunicados, como se ha visto, a través de medios diferentes. Evidentemente, el medio y tipo de comunicación empleados condiciona de manera significativa el tipo de DCE dispuesto y las técnicas de transmisión utilizadas, puesto que, por ejemplo, no presentará la misma problemática la comunicación de datos o de voz, de carácter analógico o digital, a través de un medio de transmisión inalámbrico que a través de un enlace por cable.

Por ejemplo, para el intercambio de datos a larga distancia uno de los medio de transmisión más utilizado es el de la red telefónica, con una amplia cobertura y un bajo coste. Puesto que ha sido concebida para la transmisión de señales analógicas y no digitales (datos), se hace necesario transformar las señales proporcionadas por los ordenadores o terminales con el fin de adaptarlas a las características de los circuitos telefónicos.

Para realizar una transmisión de datos a través de la red telefónica, la secuencia de bits procedente del equipo terminal de datos debe transformarse en otra adecuada para progresar a través de los medios analógicos disponibles. Esto es así porque una secuencia digital produce picos en el espectro de la señal que no son tolerables en los canales telefónicos y podrían provocar interferencias entre canales (diafonía) y generar una distorsión de las señales recibidas. Además, las secuencias de datos con gran cantidad de ceros y unos seguidos dificultarán el sincronismo en el receptor

Para evitar esto, el equipo transmisor somete la señal de datos (constituida por unos y ceros) al proceso de modulación, esto es, a la

transformación en una señal analógica que contenga la misma información. En el otro extremo, el receptor realiza el proceso de demodulación, que consiste básicamente en la operación contraria.

Según C. Perez, J. Zamanillo, A. Casanueva (2007), se tiene los siguientes tipos de modulación:

#### **A. Modulación en amplitud (ASK)**

La amplitud de una señal portadora (señal que transporta la información), de frecuencia adecuada al ancho de banda del canal de comunicaciones, se modifica de acuerdo con el estado de los bits de la información que hay que transmitir (señal moduladora). En comunicaciones en las que la señal moduladora es de carácter analógico (por ejemplo, en emisoras de radio comercial) este tipo de modulación recibe el nombre de AM (amplitud modulada). Este tipo de modulación no se suele dar habitualmente debido a su elevada sensibilidad al ruido eléctrico, lo que origina una elevada tasa de errores y, en consecuencia, un bajo rendimiento en la transmisión de información.

#### **B. Modulación de frecuencia (FSK)**

A cada estado de bit de la señal de datos se le hace corresponder una frecuencia determinada de la señal portadora. En comunicaciones telefónicas para el intercambio de datos, la modulación FSK hace que las frecuencias de la señal portadora se sitúen en el rango de 300 Hz a 3 400 Hz, correspondiente a un canal telefónico de voz. Cuando la señal moduladora es analógica, se habla de modulación FM (frecuencia modulada), técnica muy utilizada en radiodifusión comercial.

#### **C. Modulación de fase (PSK)**

En el proceso de modulación PSK se asignan diferentes valores de fase a la señal portadora, en función del estado de los bits de la señal de datos (señal moduladora).

#### **D. QPSK**

Este esquema de modulación es conocido también como Quaternary PSK (PSK Cuaternaria), Quadriphase PSK (PSK Cuadrafásica) o 4-QAM, pese a las diferencias existentes entre QAM y QPSK. Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas.

#### **E. QAM**

La QAM Digital, conocida también como QAM Cuantizada (de la expresión inglesa Quantized QAM), se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM. Por ejemplo, en 8-QAM, cada tres bits de entrada, que proporcionan ocho valores posibles (0-7), se alteran la fase y la amplitud de la portadora para derivar ocho estados de modulación únicos.

#### **F. Espectro ensanchado**

Los diseñadores de sistemas de comunicación se interesan a menudo en la eficiencia con la que los sistemas utilizan la energía y el ancho de banda de la señal. En muchos sistemas de comunicación estos son los asuntos más importantes. Sin embargo, en algunos casos existen situaciones en las que es necesario que el sistema resista a las interferencias externas, opere con baja energía espectral, proporcione capacidad de acceso múltiple sin control externo y un canal seguro e inaccesible para oyentes no autorizados. Por todo esto, a veces es necesario y conveniente sacrificar algo de la eficiencia del sistema. Las técnicas de modulación de espectro ensanchado permiten cumplir tales objetivos.

El espectro ensanchado (también llamado espectro esparcido, espectro disperso, Spread Spectrum o SS) es una técnica por la cual la señal transmitida se ensancha a lo largo de una banda muy amplia de frecuencias, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda

mínimo requerido para transmitir la información que se desea enviar. No se puede decir que las comunicaciones mediante espectro ensanchado son medios eficientes de utilización del ancho de banda. Sin embargo, rinden al máximo cuando se los combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia. La señal de espectro ensanchado, una vez ensanchada puede coexistir con señales en banda estrecha, ya que sólo aportan un pequeño incremento en el ruido. En lo que se refiere al receptor de espectro ensanchado, él no ve las señales de banda estrecha, ya que está escuchando un ancho de banda mucho más amplio gracias a una secuencia de código preestablecido.

#### **2.14.5.4. Transmisión síncrona y asíncrona**

Según M. Morris (1994), la transmisión asíncrona utiliza bits de inicio y parada en cada carácter, mientras que la transmisión síncrona no utiliza estos bits, sino una señal interna de reloj.

#### **2.14.5.5. Modos de comunicación**

##### **A. Simplex**

La transmisión solo se realiza en un sentido, sin la posibilidad de realizarlo en el sentido opuesto. Este modo es de muy escaso uso en transmisión de datos, salvo en el telecontrol, telemetría y ciertas aplicaciones de difusión de información.

##### **B. Half-Duplex**

La transmisión se lleva a cabo alternativamente en un sentido u otro, exigiendo un cierto tiempo para cada inversión, que reduce la eficiencia del sistema. Esta forma se adapta a las aplicaciones de tipo pregunta/respuesta.

##### **C. Full-Duplex**

Consiste en la transmisión simultánea e independiente en ambos sentidos. Esta forma de intercambio de información es mucho más eficiente que las anteriores y se utiliza en aplicaciones constante del

canal de comunicaciones y un tiempo de respuesta elevado como son las interactivas y la telefonía. Es habitual, en el nivel de las comunicaciones industriales de campo, que se desdoble el medio de transmisión en un canal de transmisión y otro de recepción.

## **2.15. Estándares de comunicación industrial**

Según J. Ballcells, J. Romeral, L. Romeral (2007), la necesidad de estándares que gobernaran las acciones y las características físicas y eléctricas de los equipos de comunicación. Entre los más comunes tenemos:

### **2.15.1. RS-232**

Fue diseñado para comunicación punto a punto, en donde se tiene una computadora (en la norma RS232 se le denomina DTE, Data Terminal Equipment) que se encuentra transmitiendo hacia un equipo esclavo (en la norma conocido como DCE, Data Communications Equipment) ubicado a distancias no mayores a 15 metros (aunque en la práctica alcanza distancias de hasta 50 metros) y a una velocidad máxima de 19,200 bps. Este tipo de transmisión se le conoce como "single ended" porque usa en el cable un solo retorno (GND). Es un modo de transmisión muy simple, pero también vulnerable al ruido aditivo en la línea y por esa razón es empleada para comunicación a distancias cortas.

### **2.15.2. S-485**

RS-485 o también conocido como EIA-485, que lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200

bps y la comunicación Half-Duplex. Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

## 2.16. SERVIDOR OPC

Los Servidores OPC clásicos utilizan la infraestructura COM/DCOM de Microsoft Windows para el intercambio de datos. Lo que significa que esos Servidores OPC deben instalarse bajo el Sistema Operativo de Microsoft Windows. Un Servidor OPC puede soportar comunicaciones con múltiples Clientes OPC simultáneamente.



*Figura 2.25. Diagrama OPC*

*Fuente: [www.matrikon.com](http://www.matrikon.com)*

La principal función de un Servidor OPC es el traducir datos nativos de la fuente de datos en un formato OPC que sea compatible con una o más especificaciones OPC mencionadas anteriormente (ejemplo: OPC DA para datos en tiempo real). Las especificaciones de la OPC Foundation solo definen la porción OPC de las comunicaciones del Servidor OPC, así que la eficiencia y calidad de traducción del protocolo nativo a OPC y de OPC al protocolo nativo dependen enteramente de la implementación del desarrollador del Servidor OPC.

Los Servidores OPC comunican nativamente con las fuentes de datos, por ejemplo: dispositivos, controladores y aplicaciones. Las especificaciones de la OPC Foundation no especifican como el Servidor OPC se debe comunicar con la fuente de datos porque hay una gran variedad de fuentes de datos disponibles en el mercado. Cada PLC, DCS, controlador, etc. tiene su propio protocolo de comunicación o API que a su vez permiten la utilización cualquier cantidad de conexiones físicas (serial RS485 o RS232, Ethernet, wireless, redes propietarias, etc.).

## 2.17. PLC

Controladores Lógicos Programables son diseñados usando lo último en diseño de microprocesadores y circuitería electrónica, esto proporciona una mayor confiabilidad en su operación, así como también en las aplicaciones industriales donde existen peligros ambientales: alta repetibilidad, elevadas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas, entre otros. Así como se ve en la figura 2.26



*Figura 2.26. Controlador lógico Programable*

*Fuente: [www.siemens.com](http://www.siemens.com)*

# CAPÍTULO III



### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material**

##### **3.1.1. Población**

Número de reclamos por faltantes de varillas registrados en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

##### **3.1.2. Muestra**

Número de reclamos por faltantes de varillas registrados entre los meses de Setiembre a Noviembre al tren laminador 2 del área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote.

##### **3.1.3. Unidad de Análisis**

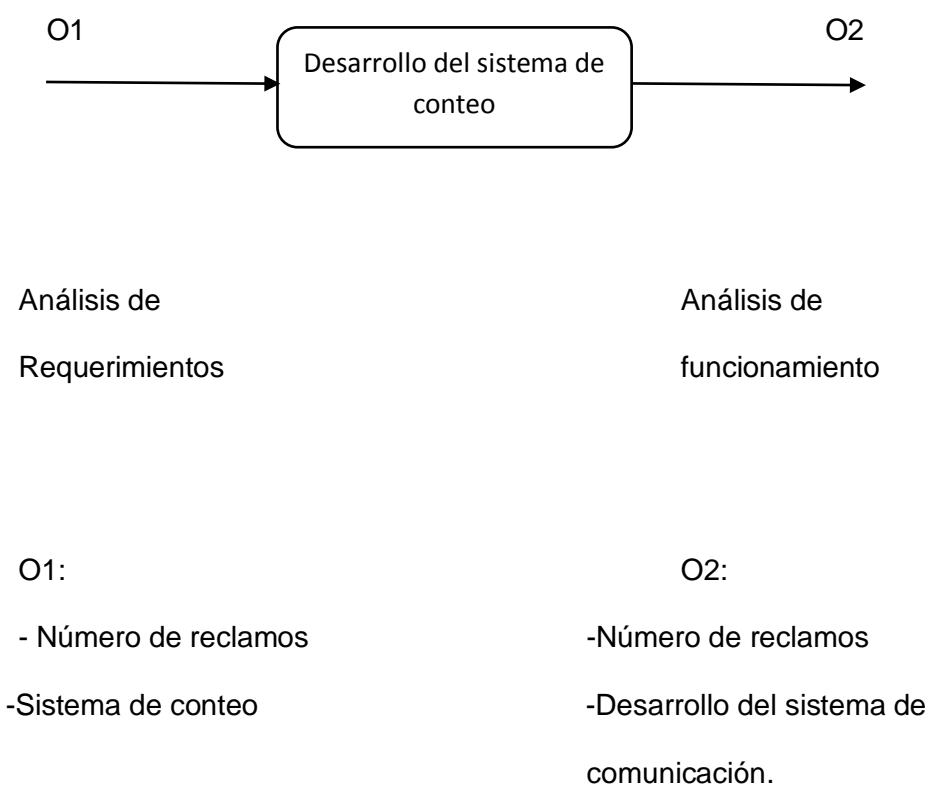
Número de varillas que conforman paquetes de barras de construcción elaborados por Tren Laminador 2 del área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú SAC de la ciudad de Chimbote.

#### **3.2. Métodos**

##### **3.2.1. Tipo de Investigación**

Aplicada

### 3.2.2. Diseño de Investigación



*Figura 3.1. Diseño de la investigación*

*Fuente. Elaboración propia.*

### 3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización

Tabla 3.1. Operacionalización de la variable dependiente.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES DE MEDIDA
Reducción de reclamos registrados en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote	Conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de obtener información de manera automática.	El sistema obtendrá la imagen del paquete formado por las barras de construcción, al cual se le aplicará un procesamiento a través del software Matlab para obtener la cantidad de varillas por paquete.	Tipos de barras de construcción	Estándar de pesos métricos de trabajo para barras de construcción y número de varillas	-----	mm. o in.
			Línea de producción	Estándar de pesos métricos de trabajo para barras de construcción y número de varillas	-----	N° de líneas
			Cantidad de varillas por paquete	Tabla de rango del número de barras por paquete.	-----	N° de varillas
			Error mensual de conteo	Informe de reclamos por conteo mes a mes.	-----	N° de reclamos

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDADES DE MEDIDA
Sistema de conteo automático de barras de construcción de diámetros de 12mm, 1/2", 3/4", 5/8"	Conteo automático, es determinar la cantidad de elementos existentes mediante el uso de equipos que permiten realizar con esto con la mayor precisión posible.	Contará las barras de construcción, ubicadas en los recibidores, provenientes de la mesa de enfriamiento, para ser entregados al área de logística.	Requerimientos del sistema	Tabla de etapas del sistema	-----	N° de etapas
			Medios de la red de comunicación	Tabla de características de la red de comunicación	-----	-----
			Medios físicos	Tabla de identificación de agentes físicos	-----	-----
			Características del medio	Tabla de características de los medios físicos	-----	-----

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos

#### 3.2.4.1. Tabla de etapas del sistema

Para la obtención de los requerimientos del sistema y las etapas y sub-etapas del mismo, se realizó la entrevista con el gerente industrial de la Empresa Siderurgica del Peru S.A. y el gerente del área de Laminación Largos. Además la empresa brindó como referencia un benchmarking del corporativo con una aplicación acorde lo que se necesita o requieren como se muestra en el anexo 11.

En la entrevista se resaltaron los puntos que se muestran en la tabla 3.3.

*Tabla 3.3. Tabla de requerimientos*

Requerimiento	Características
Tipo de conteo	Por fotografía
Software	No especificado
Velocidad	Menor a 10 segundos
Aceptación de error	1 varilla sobrante por paquete
Certificación	Etiqueta térmica

*Fuente: Elaboración propia*

Se ha asignado nombre a cada etapa y sub etapa del sistema con el que se podrá identificar los requerimientos de cada parte del proceso como se muestra en la tabla 3.4 y determinar los aspectos a controlar en el sistema.

Tabla 3.4. Tabla de etapas y sub – etapas del sistema

ETAPA	SUB - ETAPA	NOMBRE
1	Adquisición de imagen	Alineación de varillas
		Iluminación
		Captura de imagen
2	Red de comunicación	Estación remota
		Pulsador de accionamiento
		Servidor
3	Conteo de varillas	Procesamiento digital de imagen
		Interfaz gráfica
4	Certificación de conteo	Base de datos
		Registro de fotografía
		Impresión de etiqueta

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.4.2. Tabla de características de la red de comunicación

Las características de la red de comunicación que se pondrá en el sistema fueron asignadas según el requerimiento del sistema, tal como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Tabla de características de la red de comunicación

Red de comunicación		Característica
Jerarquía de Comunicación	Nivel E/S	Botón de accionamiento
	Nivel de Control	PLC
		PC
Tipo de red		LAN
Estructura de la red		BUS
Medio de transmisión		Par trenzado
Modo de comunicación		Half-duplex

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4.3. Tabla de identificación de agentes físicos

Se ha asignado nombre a cada medio físico como se puede visualizar en la tabla 3.6., con el que se podrá reconocer la cantidad exacta de módulos para los que se realizará el diseño del sistema.

*Tabla 3.6. Tabla de identificación de agentes físicos*

RECIBIDOR	NOMBRE
1	REB. M1 - LD 1
2	REB. M1 - LD 2

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.4.4. Tabla de características de los medios físicos

La tabla 3.7. muestra las dimensiones de los recibidores que existen en la mesa de acabados del tren laminador, donde se necesita controlar algunos aspectos físicos a considerar en este diseño.

*Tabla 3.7. Tabla de características de los medios físicos.*

RECIBIDOR	NOMBRE
1	REB. M1 - LD 1
2	REB. M1 - LD 2

*Fuente: Elaboración propia*

## 3.2.5. Procedimiento

### 3.2.5.1. Descripción del sistema actual

#### A. Recepción de barras

La mesa de enfriamiento del tren laminador, acumula varillas que miden aproximadamente 90 metros, en un receptor de barras que tiene un camino de rodillos, el cual dirige las varillas hacia la cizalla de 200 Tn (toneladas) cuya finalidad de cortar las barras a la medida comercial solicitada que puede ser 9, 10, 11 o 12 metros según la solicitud del cliente. Luego, las varillas cortadas a medida, son dirigidas a la mesa de acabados.

La figura 3.2. muestra las barras de construcción en la mesa de enfriamiento.



*Figura 3.2. Mesa de enfriamiento – Laminador 2*

*Fuente. Elaboración propia.*

## **B. Conteo manual**

El conteo de barras de construcción se realiza en la mesa de acabados del tren laminador, esta cuenta con cuatro recibidores, que se van llenando mediante el movimiento de cadenas según la dirección del contador (colaborador que realiza la acción de contar) y el operador de cabina, hasta llegar a la cantidad de varillas exacta según lo que diga el estándar.



En la figura 3.3 se logra visualizar al operador de acabados contando las varillas de construcción.



*Figura 3.3. Operador contando varillas en la mesa de acabados – laminador 1*

*Fuente. Elaboración propia.*

### **C. Enzunchado de barras**

Los paquetes, que se encuentran en los recibidores, son enzunchados con flejes y ganchos, el operador realiza 4 enzunches alrededor de los 9 metros como se muestra en la imagen 3.4. Se les coloca 2 lazos de alambIÓN 5.5mm para poder ser transportados a la zona de logística y ser apilados, listos para la venta como se puede ver en la imagen 3.5.



*Figura 3.4. Operador enzuchando paquete de barras de construcción – laminador 1*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.5. Apilamiento de barras de construcción en la zona de logística – laminador 1*

*Fuente. Elaboración propia.*

#### **D. Inspección de calidad**

Los paquetes listos para la venta, son inspeccionados por el área de calidad, la cual, verifica la calidad superficial del producto, como porosidad, exceso de cordón en la varilla, mal alineamiento de las varillas, conteo adecuado, etc.

### **3.2.5.2. Identificación de deficiencias del sistema de medición actual**

El sistema de conteo descrito líneas arriba se ha venido utilizando hace muchos años. Mientras que la producción del tren laminador era baja, no se ocasionaba error de conteo porque las varillas llegaban a la mesa de acabados de 20 en 20 como máximo cada 10 minutos

Actualmente, tren laminador ha aumentado su producción en 80% y ahora las varillas llegan de 40 en 40 aproximadamente cada 2 minutos.

La deficiencia principal con este método de conteo es que la mayoría de los operadores deben contar cerca de 200 paquetes por turno, cada paquete puede llegar a tener hasta 460 varillas. El operador muestra cansancio y no tiene buen control de varillas contadas ya que realiza esta acción durante 8 horas.

### **3.2.5.3. Descripción de las variables del proceso**

#### **A. Número de varillas**

Número de varillas corresponde a la cantidad exacta de barras de construcción que deben conformar un paquete de 2 Tn (toneladas), la cual está definida según norma y estándar actual de la empresa.

#### **3.2.5.4. Diseño del sistema de conteo**

El diseño del sistema será dividido en 4 etapas: etapa 1 o adquisición de imagen, etapa 2 o comunicación, etapa 3 o conteo de varillas, etapa 4 o certificación de conteo. En cada uno de estas etapas se describirán los requerimientos para hacer funcional el diseño.

##### **A. Etapa 1: Adquisición de imagen**

En esta etapa se encontrará todos los aspectos necesarios para medir las siguientes características del proceso.

###### **a. Alineación de varillas**

En este punto del diseño, se define un emparejador de varillas, ya que las barras de construcción caen desde la mesa de acabos hasta los recibidores teniendo una caída libre, generando un mal alineamiento de las varillas en el paquete como se muestra en la figura 3.6.



*Figura 3.6. Paquete de barras de construcción con varillas desalineadas.*

*Fuente. Elaboración propia.*

De acuerdo a las condiciones físicas de los recibidores, se ha contemplado colocar pistones neumáticos con las características que se muestran en la tabla 3.8.

*Tabla 3.8. Requerimientos del accionamiento neumático*

Requerimientos	Datos
Función	Doble efecto
Presión base	5 psi
Diámetro	500 mm
Carrera	100mm

*Fuente. Elaboración propia.*

## **b. Iluminación**

Al llegar a este apartado se ha tenido en cuenta que los paquetes que se encuentran en los recibidores son afectados por diferentes intensidades de iluminación ya que estos se encuentran en la parte

exterior de la planta, es por eso que se necesita de una iluminación constante que minimice el efecto de luces externas tal como se puede ver en la figura 3.7.



*Figura 3.7. Paquete de barras de construcción con iluminación adecuada*

*Fuente. Elaboración propia.*

De acuerdo a las condiciones físicas de la estructura de soporte de este sistema, se ha considerado colocar pantallas con las características que se muestran en la tabla 3.9.

*Tabla 3.9. Tabla de requerimientos de pantallas de iluminación*

Requerimientos	Datos
Tipo de pantalla	LED
Voltaje de operación	220v
Flujo lumínico	> a 8000 lm
Dimensiones	350 x 350 mm

*Fuente. Elaboración propia.*

### **c. Captura de imagen**

Para esta parte del sistema se utilizará una cámara industrial de alta resolución que pueda diferenciar cada varilla de manera correcta que tengas las características mostradas en la tabla 3.10.

*Tabla 3.10. Tabla de requerimientos de la cámara*

Requerimientos	Datos
Resolución	4608 x 3288
Conexión	USB 3.0
Fps	10

*Fuente. Elaboración propia.*

## **B. Etapa 2: Comunicación**

### **a. Estación local**

Para este diseño se utilizará un PLC como unidad remota terminal, que será el encargado de enviar la señal de pulso que indica la selección de cámara o conteo. Asimismo existen muchas características que se tienen que considerar para la elección de un PLC, pero de acuerdo a esta aplicación en la que el autómatas programable hará las veces de maestro y realizará las peticiones hacia los esclavos, solo se presenta los requerimientos mostrados en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Tabla de requerimientos del PLC.

Requerimientos	Datos
Tensión de alimentación	220 V AC o 24 V DC
Comunicación	Modbus, Ethernet
Entradas y salidas	8 DI - 8 DO
Interfaces	Ethernet RJ-45 Serie RS-485

Fuente. Elaboración propia.

**b. Pulsador de accionamiento**

Es necesario especificar que para el accionamiento de captura se debe tener un pulsador que dé la orden para que se realice el conteo de varillas. A manera de facilitar el procedimiento al operador, se colocará pedales que pueden enviar la orden de activación o captura de fotografía.

**c. Servidor**

El OPC server será el encargado de comunicar el PLC con la interfaz gráfica el cual debe diseñado para la transmisión de datos en tiempo real.

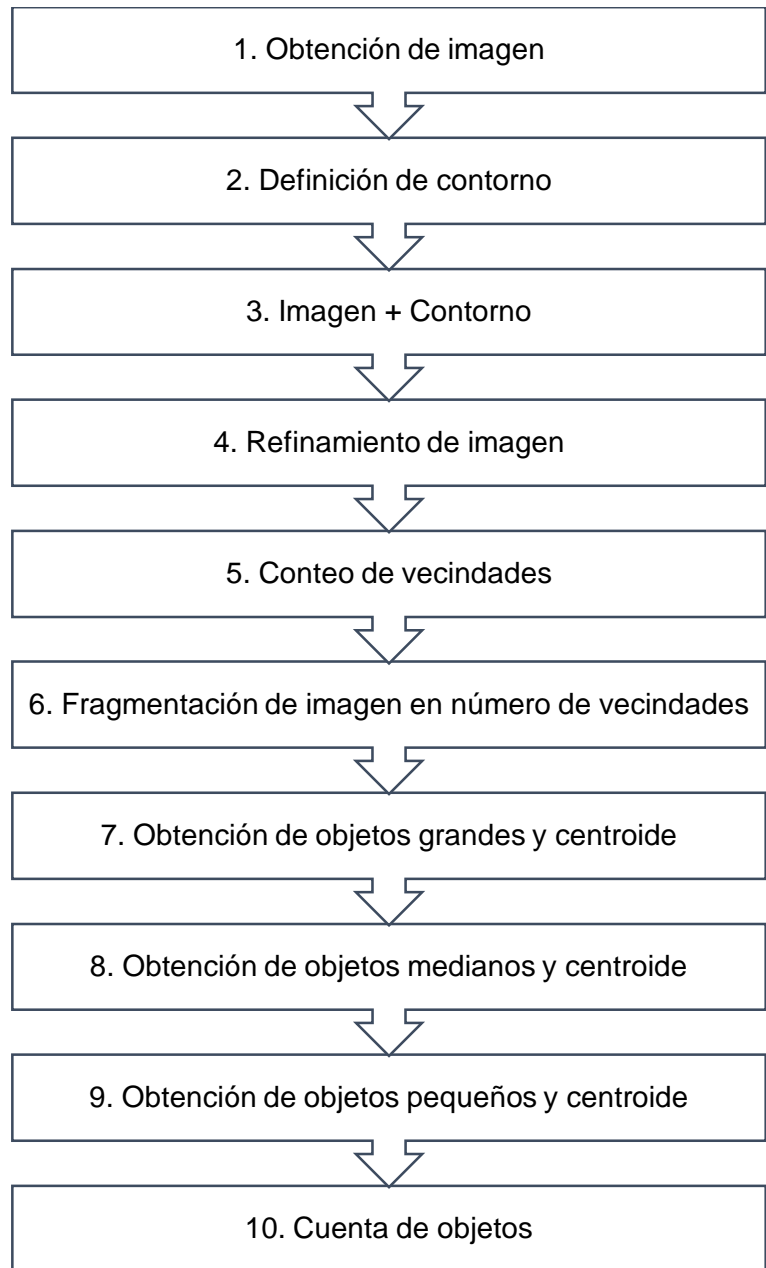
**C. Etapa 3: Conteo de varillas**

**a. Procesamiento digital de imagen**

Se realizará el procesamiento de imágenes mediante la captura de fotografía, la cual deberá pasar filtros puntuales para la obtención de



elementos solicitados dentro de la imagen, como se menciona en la figura 3.8



*Figura 3.8. Procesamiento digital de la imagen*

*Fuente. Elaboración propia.*

Desde las figuras 3.9 a 3.16 se logra ver el paso a paso de una fotografía como ejemplo.



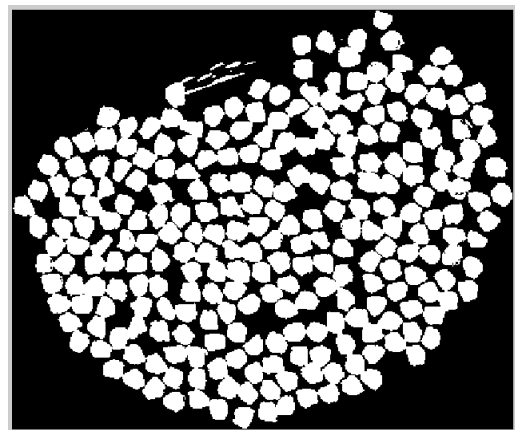
*Figura 3.9. Ejemplo de adquisición de imágenes*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.10. Contorno pre-definido*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.11. Ejemplo de conteo de vecindad*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.12. Ejemplo de análisis de fragmentos y detección de centroide*

*Fuente. Elaboración propia.*



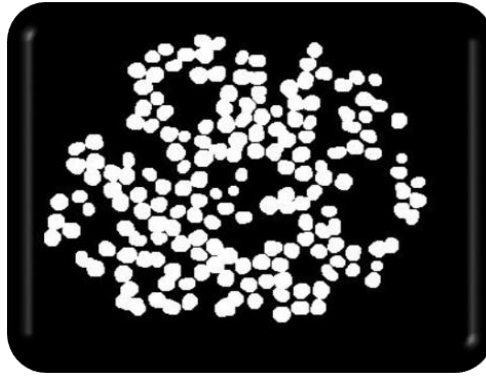
*Figura 3.13. Objetos grandes*

*Fuente. Elaboración propia.*



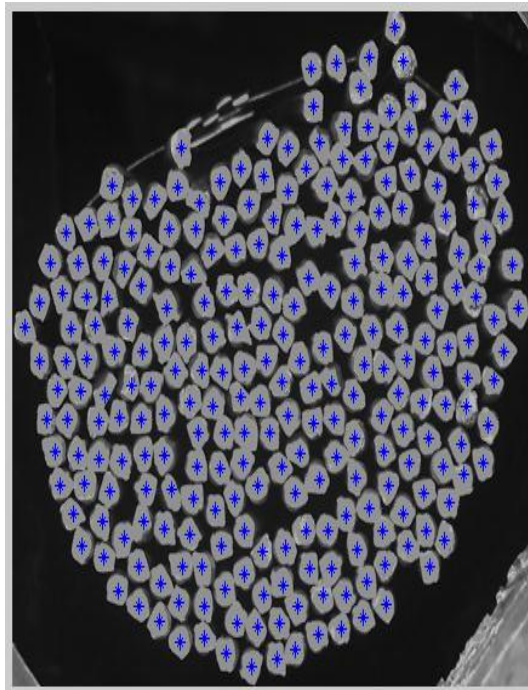
*Figura 3.14. Objetos medianos*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.15. Objetos pequeños*

*Fuente. Elaboración propia.*



*Figura 3.16. Cuenta de objetos*

*Fuente. Elaboración propia.*

## **b. Interfaz gráfica**

Se realizará una interfaz gráfica accesible al operador, deberá estar plasmada en un monitor grande y en una estructura fija y compacta.

#### **D. Etapa 4: Certificación de conteo**

##### **a. Base de datos**

En esta parte del sistema es necesario guardar los datos del paquete en una tabla de registro como el lote, número de paquetes, cantidad de varillas contadas cuando el número de varillas es igual a lo solicitado por el estándar.

##### **b. Registro de fotografía**

Al igual que lo mencionado anteriormente, se guardará la fotografía captada por el sistema en una carpeta específica y se identificará con un nombre compuesto por el lote, paquete y número de varillas.

##### **c. Impresión de etiqueta**

La última parte del sistema será imprimir una etiqueta de certificación de conteo, la cual deberá ser pequeña para poder pegarla en la detrás de la etiqueta de registro existente.



*Figura 3.17. Etiqueta estándar*

*Fuente. Elaboración propia.*

### 3.2.5.5. Selección de instrumentos, equipos y software

#### A. Cámara

La cámara utilizada para la adquisición de imagen será una Pixelink PL-D7715 como se puede visualizar en la figura 3.18. con características que indica en la tabla 3.8. Esta cámara cuenta con resolución de 15MP (4608 x 3288), conexión USB 3.0, compacta de 38.5 x 55 x 30 mm y con la capacidad de capturar hasta 13fps a full resolución.



*Figura 3.18. Cámara Pixelink PL-D7715*

*Fuente. [www.pixelink.com](http://www.pixelink.com)*

#### B. Lámpara de luz

En base a la tabla 3.7. se utilizará una lámpara LED de 12000 lm con dimensiones de 370 x 360 mm cuyo voltaje de operación es 200 v. como se muestra en la figura 3.19

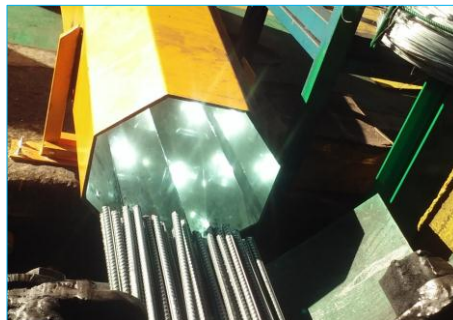


*Figura 3.19. SmartLED Projector*

*Fuente: [www.lighting.philips.com/](http://www.lighting.philips.com/)*

### **C. Campanas de iluminación**

Se instalarán campanas de espejos a manera de reflejar la luz en la cara frontal del paquete con las dimensiones de los recibidores que se encuentran en la tabla 3.5. y, así los detalles de contorno de las barras de construcción estén más definidos como se muestra en la figura 3.20



*Figura 3.20. Campanas de iluminación*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **D. CPU**

Se deberá implementar una computadora con un procesador core i7, tarjeta gráfica de 1Gb, RAM de 4 Gb, con sistema operativo Windows 7.

### **E. Pantalla**

Se colocará un monitor LED de 51" que facilite la visión al operador, como el que se muestra en la figura 3.21.



*Figura 3.21. Interface de supervisión.*

*Fuente. [www.geautomation.com](http://www.geautomation.com)*

### **F. Pedales NA**

Se utilizará un interruptor de pedal NA de metal altamente robusto de conectividad simple y sin mecanismos de activación de la marca Schneider con forme se muestra en la figura 3.22



*Figura 3.22. Interruptor de pedal NA.*

*Fuente. [www.schneider.com](http://www.schneider.com)*

### **G. Impresora**

Se utilizará una impresora térmica industrial de la marca Zebra encargada de emitir las etiquetas de certificación



del conteo óptico. Esta impresora, tiene el código 105SLPlus y es compacta como se muestra en la figura 3.23 y tendrá la función de imprimir la etiqueta con el formato que se muestra en la imagen 3.24.



Figura 3.23 Impresora Zebra 105SLPlus

Fuente. [www.zebra.com](http://www.zebra.com)

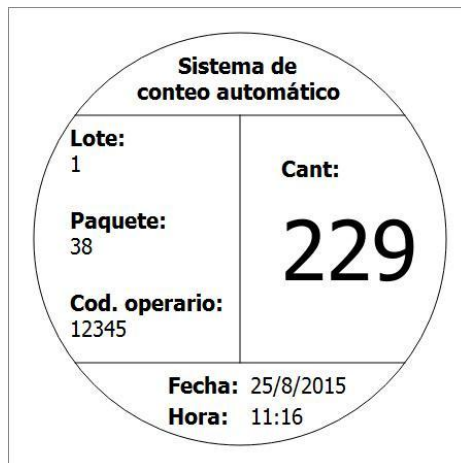


Figura 3.24. Formato de impresión de etiqueta

Fuente. Elaboración propia

## H. Pistón neumático

Se utilizará un pistón neumático, de 3 a 15 psi con una distancia de carrera de 100mm y de 480 mm de longitud, según como se solicita en tabla 3.7 de los requerimientos de accionamiento neumático.

### 3.2.5.6 Elaboración de presupuesto

Después de la selección realizada, se estimaron los costos de cada uno de los equipos que harán posible el desarrollo del sistema. En la tabla 3.12. y tabla 3.13 se presenta el presupuesto elaborado, dividido en costos de materiales y mano de obra.

Tabla 3.12 Tabla del presupuesto – Mano de obra

MANO DE OBRA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COST. UNI. (\$)	SUBTOTAL (\$)
Levantamiento de información	1	800.00	800.00
Diseño del sistema	1	1,500.00	1,500.00
Instalación de equipos e instrumentos	3	3,800.00	11,400.00
Configuración de equipos	1	1,200.00	1,200.00
Pruebas	1	600.00	600.00
Puesta en marcha	1	900.00	900.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA			16,400.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13. Tabla de presupuesto – Materiales

Materiales			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COST. UNI. (\$)	SUBTOTAL (\$)
Cámara Pixelink PL-D7715, accesorios	2	4,000.00	8,000.00
Reflector TANGO LED 200 W 220V	2	500.00	1,000.00
Conos de iluminación	2	600.00	1,200.00
Estructura base	1	4,000.00	4,000.00
CPU core i7	1	3,000.00	3,000.00
Pantalla LED 51"	1	2,500.00	2,500.00
Pedal Schneider 1NA + 1NO	1	200.00	200.00
Pistón neumático	1	1,200.00	1,200.00
Software Matlab	1	15,000.00	15,000.00
Impresora Zebra 105SLPlus	1	3,500.00	3,500.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA			39,600.00

Fuente: Elaboración propia.

Al sumar ambas partidas, el monto total para implementar el sistema de conteo automático sería de \$ 56 400 dólares americanos.

### 3.2.5.7. Simulación del sistema de conteo

Hasta esta parte se ha descrito el diseño del sistema de conteo, ahora es necesario comprobar que el diseño funciona para ello es indispensable la puesta en marcha de todos las partes del sistema que ayudarán a dar fe del conteo realizado.

A continuación desde la figura 3.25 hasta la figura 3.28 se presentan las capturas de pantalla de las pruebas de conteo realizados en cantidades diferentes de varillas durante la formación de paquetes en la producción de 12mm.

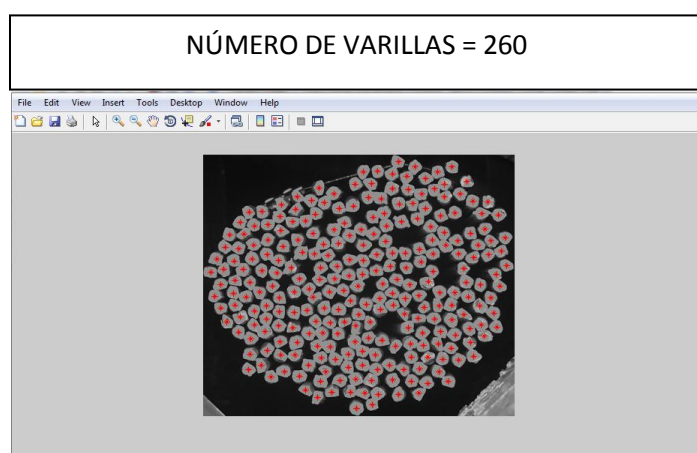


Figura 3.25. Paquete formado por 260 varillas

*Fuente. Elaboración propia.*

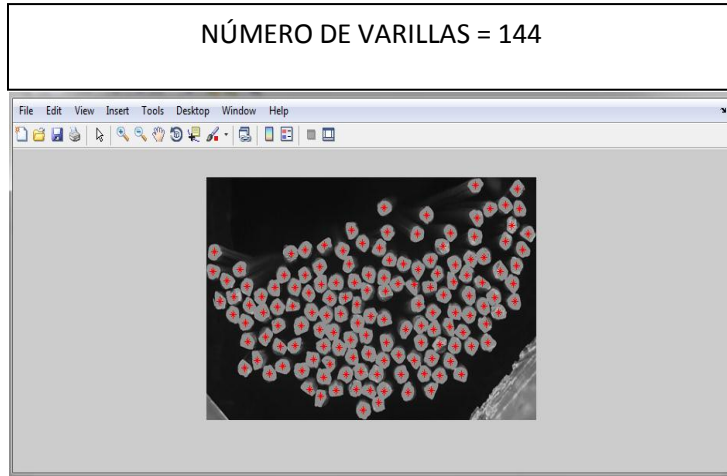


Figura 3.26. *Paquete formado por 144 varillas*

*Fuente. Elaboración propia.*

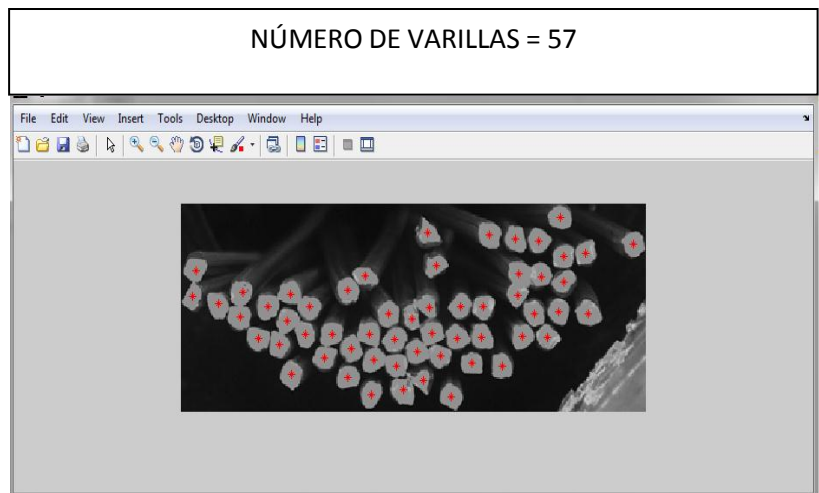


Figura 3.27. *Paquete formado por 57 varillas*

*Fuente. Elaboración propia.*

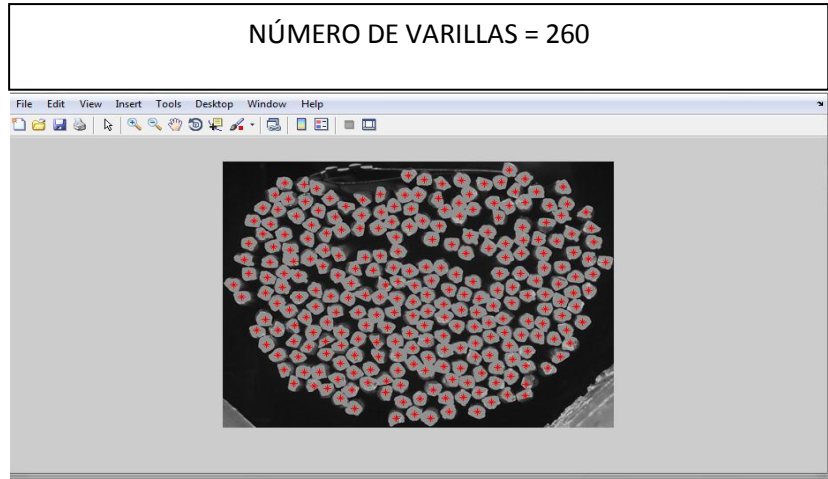


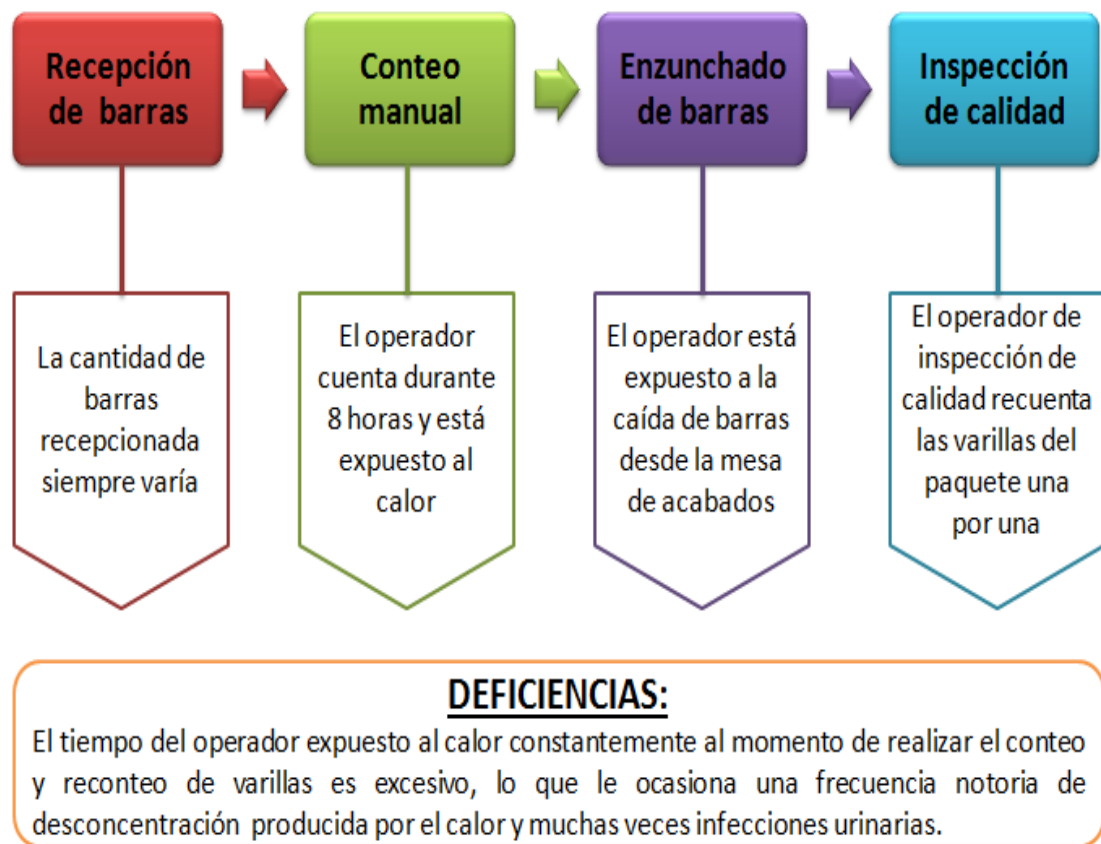
Figura 3.28. *Paquete formado por 260 varillas*

*Fuente. Elaboración propia.*

# CAPÍTULO IV

#### 4. RESULTADOS

Se realizó el levantamiento de información de la mesa de acabados del tren laminador del área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. usada de muestra en este estudio, de las cuales se evaluó el proceso y se identificaron las deficiencias presentadas en el diagrama 4.1



*Figura 4.1. Diagrama del proceso e identificación de deficiencias.*

*Fuente: Elaboración propia.*

De la información obtenida en el proceso, se identificó que para poder disminuir los reclamos de faltantes de barras de construcción es necesario realizar un sistema de conteo automático de varillas el cual deberá tener las etapas que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tabla de etapas y sub – etapas del sistema

ETAPA	NOMBRE	
1	Adquisición de imagen	
	a.	Alineación de varillas
	b.	Iluminación
	c.	Captura de imagen
2	Comunicación	
	a.	Estación remota
	b.	Pulsador de accionamiento
	c.	Servidor
3	Conteo de varillas	
	a.	Procesamiento digital de imagen
	b.	Interfaz gráfica
4	Certificación de conteo	
	a.	Base de datos
	b.	Registro de fotografía
	c.	Impresión de etiqueta

Fuente: Elaboración propia

Al analizar las variables del proceso, los requerimientos que este presenta y las propuestas más sencillas para el desarrollo, implementación y mantenimiento del sistema de conteo, se presenta en la figura 4.2 el diseño del sistema de conteo para reducir el número de reclamos por faltante de varillas reportadas al área del Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C.



Figura 4.2. Diseño final del sistema de conteo automático.

Fuente: Elaboración propia



Se presenta a continuación en la tabla 4.2, el presupuesto necesario para la implementación del diseño de este sistema de conteo, considerando las cotizaciones realizadas y precios en el mercado industrial. Se ha considerado dividir el presupuesto en dos áreas: materiales (equipos, cableado, instrumentación) y mano de obra (levantamiento de información, diseño, implementación, pruebas, puesta en marcha). Asimismo el presente presupuesto está en dólares americanos y tiene una validez comercial hasta el mes de Diciembre del presente año.

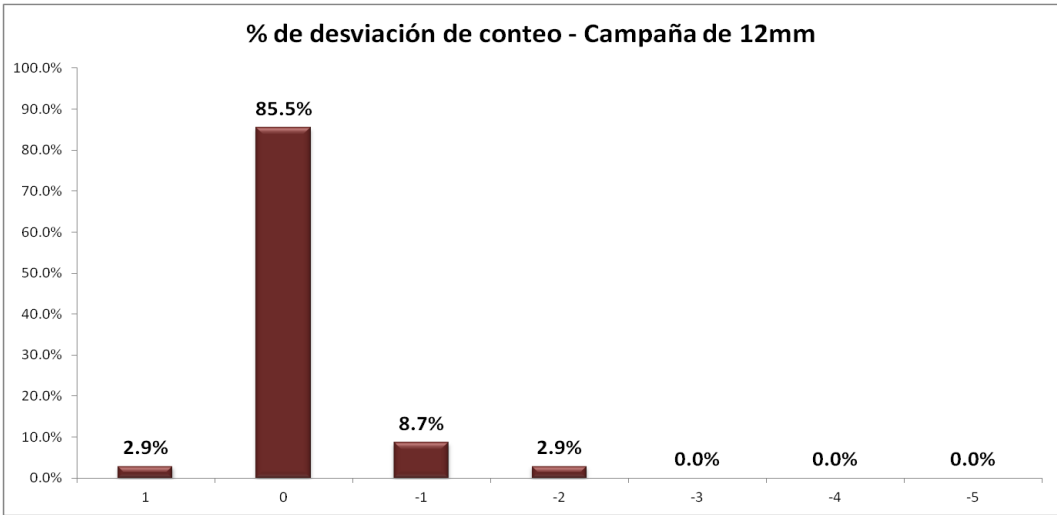
*Tabla 4.2. Presupuesto del sistema de conteo*

<b>MANO DE OBRA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COST. UNI. (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
Levantamiento de información	1	800.00	800.00
Diseño del sistema	1	1,500.00	1,500.00
Instalación de equipos e instrumentos	3	3,800.00	11,400.00
Configuración de equipos	1	1,200.00	1,200.00
Pruebas	1	600.00	600.00
Puesta en marcha	1	900.00	900.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>16,400.00</b>
<b>Materiales</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COST. UNI. (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
Cámara Pixelink PL-D7715, accesorios	2	4,000.00	8,000.00
Reflector TANGO LED 200 W 220V	2	500.00	1,000.00
Conos de iluminación	2	600.00	1,200.00
Estructura base	1	4,000.00	4,000.00
CPU core i7	1	3,000.00	3,000.00
Pantalla LED 51"	1	2,500.00	2,500.00
Pedal Schneider 1NA + 1NO	1	200.00	200.00
Pistón neumático	1	1,200.00	1,200.00
Software Matlab	1	15,000.00	15,000.00
Impresora Zebra 105SLPlus	1	3,500.00	3,500.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>39,600.00</b>
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>56,000.00</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Se realizaron pruebas para validar el sistema de conteo automático implementado en la mesa 01 de acabados, donde se lograron obtener estos resultados en la medida de 12 mm y 1/2", donde se obtuvieron el 85.5 % de asertividad y se logra visualizar en la figuras 4.3 y figura 4.4 respectivamente.

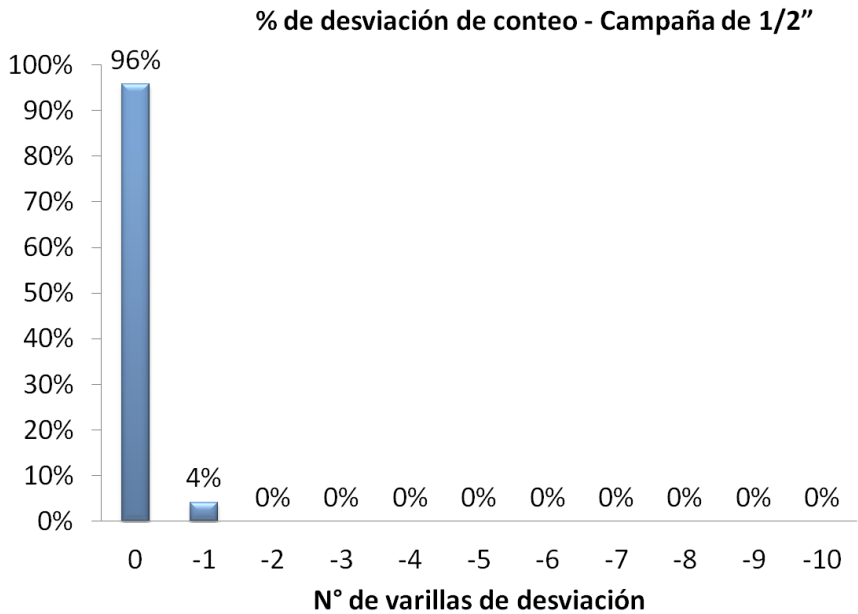
*Gráfico de resultados de la producción de 12 mm.*



*Figura 4.3. Desviación porcentual de conteo en la producción de 12 mm*

*Fuente: Elaboración propia*

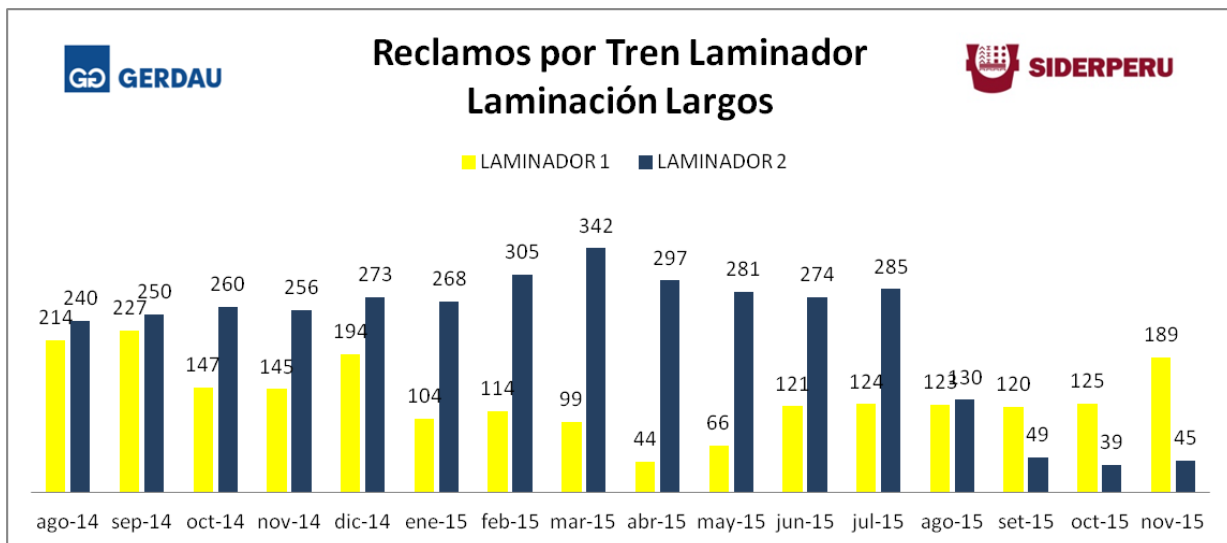
*Gráfico de resultados de la producción de 1/2".*



*Figura 4.4. Desviación porcentual de conteo en la producción de 1/2"*

*Fuente: Elaboración propia*

En los meses de agosto a setiembre los reclamos en el laminador dos bajaron según lo expuesto por el área comercial.



*Figura 4.5. Reporte de reclamos de hasta noviembre del 2015*

# CAPÍTULO V

## **5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Al finalizar la a evaluación del proceso del conteo manual actual, en la zona de acabados del laminador 2 del área industrial Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. se puede identificar una deficiencia de productividad del operador causada por la fatiga que no permite obtener un buen conteo del número de varillas según lo determinado por el estándar.

Las etapas del sistema de conteo automático logran determinar las necesidades puntuales para cada una de estas, donde se logra controlar los puntos débiles del sistema y los agentes externos que pueden influenciar en él, como la desalineación, la luz exterior, etc.

Los requerimientos presentados para tener un sistema conteo automático con los adecuados y permiten que el sistema sea robusto y apto para trabajar las 24 horas del día. El diseño de conteo de varillas es un diseño confiable que se sometió a prueba durante un mes, siendo el punto cable la conectividad del servidor OPC con el PLC y el programa MATLAB para la ejecución adecuada del proceso de conteo.

Los costos estimados en el presupuesto están acorde a los costos de los sistemas de conteo desarrollados para la industria, aunque si bien es cierto el monto se puede apreciar elevado; la cantidad de ventajas que le ofrecerá a la empresa permitirá para mejorar la rentabilidad del negocio. Finalmente este costo, para la empresa, no será más que una inversión a mediano plazo y una motivación para continuar integrando las demás mesa de acabos y realizar réplicas en el corporativo. Al evitar reclamos por faltante de varillas, se tiene un retorno estimado de la inversión en un lapso de medio año aproximadamente.

La validez del sistema de conteo ha sido evaluada durante un mes de servicio, donde la certeza ha crecido considerablemente.

# CAPÍTULO VI

## **6. CONCLUSIONES**

En el actual proceso de conteo de varillas del área industrial de Laminación Largos, se generaron grandes pérdidas económicas para la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C. que afectan directamente la rentabilidad de la empresa.

La identificación de las etapas del sistema de conteo automático de barras de construcción fue la adecuada ya que se logró implementar paso a paso las necesidades de cada etapa del proceso de conteo.

La evaluación de los requerimientos del sistema de conteo consideró todas las características y deficiencias del proceso, originando como alternativa de solución el desarrollo de un sistema de conteo que permita brindar el número exacto de varillas que conforman un paquete.

El costo estimado para el sistema de conteo comprende la adquisición de todos los materiales y la mano de obra, ascendiendo a un monto de 41 000 dólares americanos y con una vigencia comercial hasta el mes de Diciembre del año 2015, acorde a los precios manejados a nivel industrial para sistemas de conteo

El diseño del sistema de conteo usando el programa MATLAB es válido, con una asertividad mayor al 85% lo que permite reducir el número de reclamos por faltante de varillas en el área industrial de Laminación Largos de la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.C.

# CAPÍTULO VII



## **7. RECOMENDACIONES**

Tener en cuenta sistemas de ventilación adicionales para los estructura donde se instalarán los equipos de de procesamiento y comunicación, si bien es cierto se consideró instalarlos en ambiente con ventilación natural. Se recomienda instalar un sistema de aire acondicionado el cual, ayudará a mantener la temperatura del ambiente.

Considerar utilizar doble tipo de pulsador de accionamiento de captura de imágenes ya que el cableado de los pedales podría fallar por el manejo de los operadores.

Desarrollar un plan de mantenimiento y análisis de equipos críticos donde se pueda realizar un mantenimiento preventivo de estos con la finalidad de evitar pérdidas mayores en futuro.

# CAPÍTULO VIII

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 8.1. Libros, artículos y revistas

Covington, M. "Astrofotografía con con cámaras réflex digitales" AKAL S.A.2009

Cuevas, A." Reconocimiento de objetos mediante redes neuronales". LULU., 2012

Esqueda, J., & Palafox, L."Fundamentos de procesamiento de imágenes." Baja California, Universidad Autónoma de Baja California., 2009

Gilat, A. "Matlab, una introducción con ejemplos prácticos". BARcelona, Reverté S.A., 2005

Informática, D. "Ampliación de informática gráfica". Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2002

Monsó, J. "Sistemas de identificación y control automático." Barcelona, MARCOMBO., 2004

Passariello, G., & Mora, F. "Imágenes médicas". Caracas, Equinoccio, 2005

Rossius, S. (2013). Reconocimiento de objetos mediante WebCam en tiempo real. Valencia: Universida Politecnica de Valencia.

Salazar, M. (2014). Cómo hacer fotos paisajes. USA: PALIBRIO.

Matos S., Pablo J. "*Detección de Adulteraciones de Combustibles de Uso en el Parque Automotor Peruano*" (Tesis). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Dunn W. "*Fundamentals of Industrial instrumentation and Process Control*". McGraw-Hill Professional, 2005. 322p.

Tanenbaum A. "*Redes de computadoras*", 4ta edición, Prentice-Hall México, 2003. 304 p.

Peña J., Caro J., Saldes A., Martínez H. *“Comunicaciones en el entorno industrial”*, Editorial UOC. 2003, 250p.

Oliva N. *“Redes de comunicaciones industriales”*, Editorial UNED. 2013, 483p.

Pérez C., Zamanillo J., Casanueva A. *“Sistemas de telecomunicación”*, Editorial Universidad de Cantabria. 2007, 495p.

Morris M. *“Diseño digital”*, Prentice-Hall. 1994, 345p.

Balcells J., Romeral J., Romeral L. *“Autómatas programables”*. Marcombo S.A., 2007. 450 p.

Colomer J. *“Sistemas de Supervisión”*. 2012. 33 p.

## **8.2. Enlaces web**

<http://www.worldsteel.org>

Consultado el 05/08/2015

# ANEXOS

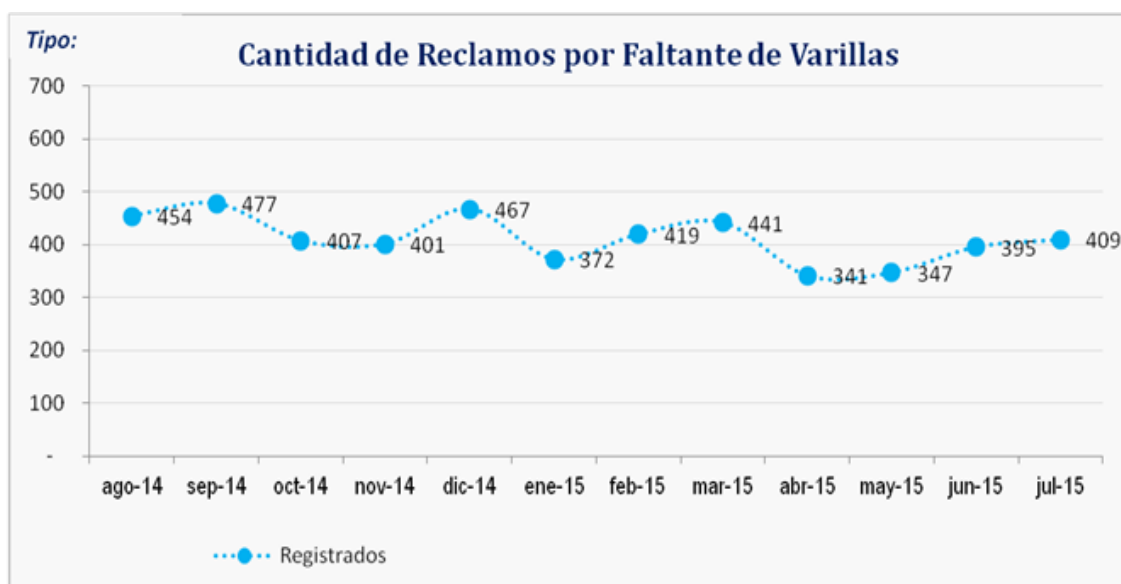
**Anexo 1:** Estándar de pesos métricos de trabajo para barras de construcción y número de varillas por producto.



## PESOS METRICOS DE TRABAJO PARA BARRAS DE CONSTRUCCION

PRODUCTO	DIMENSIONES NOMINALES NORMA				Peso metrico (Kg/m) de TRABAJO					
	Peso Metrico Nominal	Long. (m)	Vrlls/2tn	Peso Paquete (kg)	NOMINAL			MINIMO		
					Peso metrico Kg/m	Desv. %	Peso Paquete (Kg)	Peso metrico Kg/m	Desv.%	Peso Paquete (Kg)
BC 8 x 9m	0.395	9	580	2062	0.383	-3.0	1999	0.377	-4.5	1969
BC 3/8 x 9m	0.56	9	416	2097	0.535	-4.5	2003	0.529	-5.6	1979
BC 3/8 x 12m	0.56	12	312	2097	0.535	-4.5	2003	0.529	-5.6	1979
BC 12 x 9 m	0.888	9	260	2078	0.853	-3.9	1996	0.840	-5.4	1966
BC 12 x 12 m	0.888	12	195	2078	0.853	-3.9	1996	0.840	-5.4	1966
BC 1/2 x 9 m	0.994	9	232	2075	0.955	-3.9	1994	0.940	-5.5	1962
BC 1/2 x 12 m	0.994	12	174	2075	0.955	-3.9	1994	0.940	-5.5	1962
BC 5/8 x 9 m	1.552	9	150	2095	1.480	-4.6	1998	1.465	-5.6	1978
BC 5/8 x 12 m	1.552	12	113	2105	1.480	-4.6	2007	1.465	-5.6	1987
BC 3/4 x 9 m	2.235	9	102	2052	2.165	-3.1	1987	2.133	-4.6	1958
BC 3/4 x 12 m	2.235	12	77	2065	2.165	-3.1	2000	2.133	-4.6	1970
BC 1 x 9 m	3.973	9	58	2074	3.820	-3.9	1994	3.763	-5.3	1964
BC 1 x 12 m	3.973	12	44	2098	3.790	-4.6	2001	3.752	-5.6	1981
BC 1 3/8 x 12 m	7.907	12	22	2087	7.588	-4.0	2003	7.474	-5.5	1973

**Anexo 2:** Registro de reclamos mes a mes recepcionados por el área comercial en el periodo de agosto del 2014 a julio del 2015.



**Anexo 3:** Reporte del área de SSMA (Salud, Seguridad y Medio Ambiente) del mapeo del área de laminación largos en el periodo Enero 2015 – Julio 2015

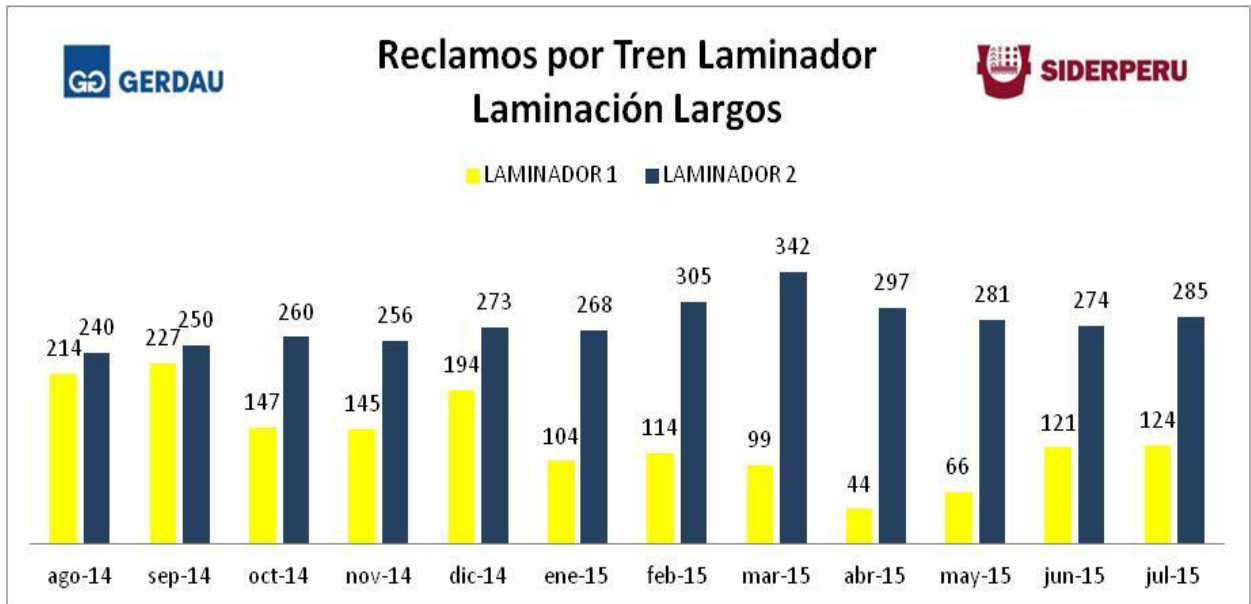


## INCIDENTES SEGÚN LA DESCRIPCIÓN LAMINACIÓN LARGOS

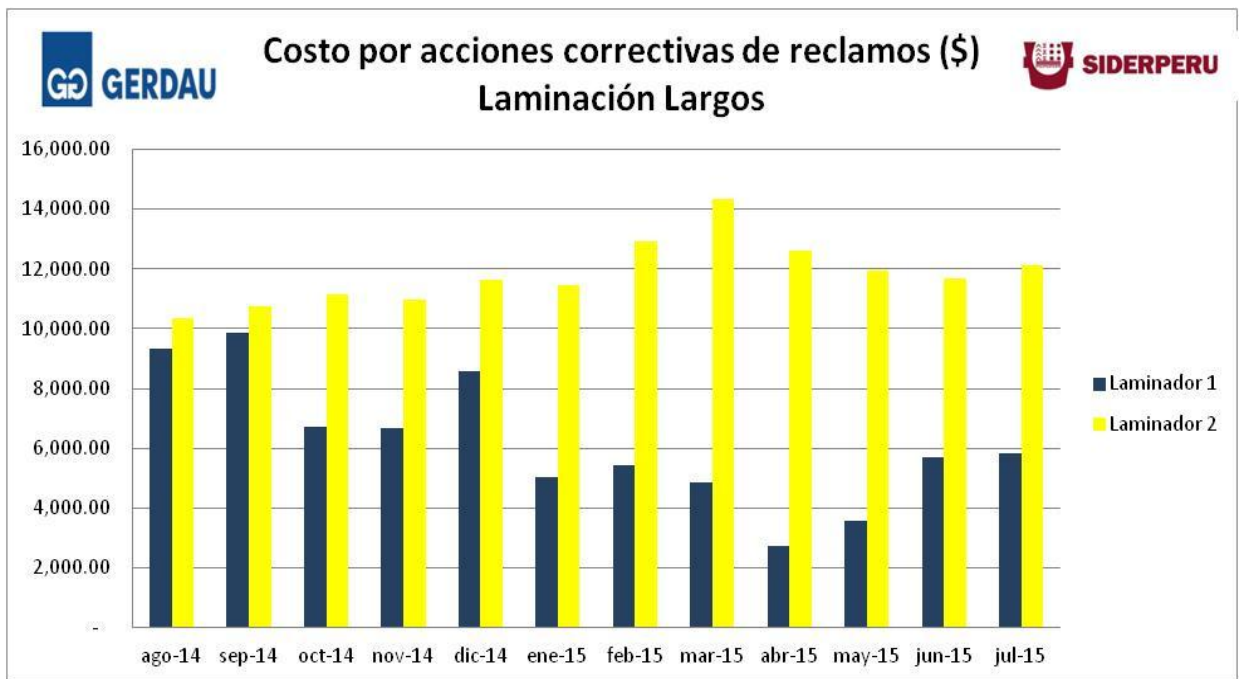


Descripción	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	Indicador / Descripción
Golpe con el paquete	3	2	5	2	6	2	7	27
Corte con zuncho	5	6	3	5	4	5	8	36
Infección Urinaria	20	28	10	16	23	10	15	122
Quemadura con barra	2	3	1	4	3	3	2	18
Otros	6	3	1	7	6	3	5	31
Indicador / Mes	36	42	20	34	42	23	37	

**Anexo 4:** Informe de reclamos por Tren de Laminación (Laminador 1 y Laminador 2) emitido por el inspector de calidad del área



**Anexo 5:** Reporte de costo por acciones correctivas de reclamos, emitido por el área contable de Laminación Largos





## Anexo 6: Encuesta de conformidad del cliente – Laminación Largos



### CONFORMIDAD DEL CLIENTE



#### LAMINACIÓN LARGOS

Pregunta 1: El reclamo realizado fue ocasionado por:

- a. Barra corta   b. Barra ondulada   c. Faltante de barra   d. Sobrante de barra   e. Exceso de cordón

Pregunta 2: Luego de realizar el reclamo, la acción correctiva fue dada en un lapso de tiempo de:

- a. Menor a 2 días   b. Menor a 7 días   c. Menor a 15 días   d. Menor a un mes   e. Mayor a un mes

Pregunta 3: La frecuencia con la que se ha ocasionado una no conformidad (reclamo) ha sido:

- a. Siempre   b. Casi siempre   c. Algunas veces   d. Muy pocas veces   e. Casi nunca

Pregunta 4: Considera que la no conformidad ha sido producto de:

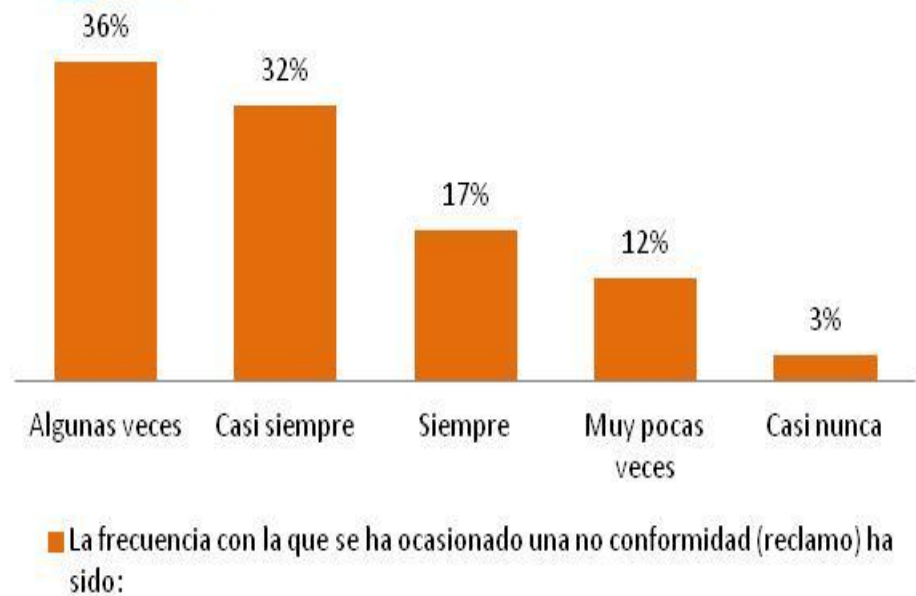
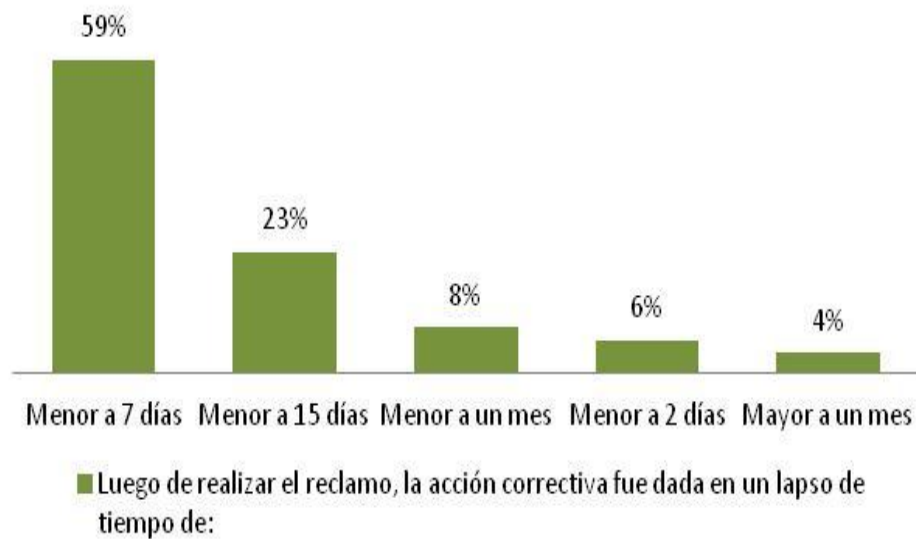
- a. Descuido de la empresa   b. Un error puntual

Pregunta 5: Luego de la visita a Siderperu - Gerdau en la ciudad de Chimbote, ¿Considera que el reclamo volverá a ocurrir?

- a. Sí, ocurrirá   b. Podría ocurrir   c. No lo sé   d. No creo que ocurra   e. No ocurrirá

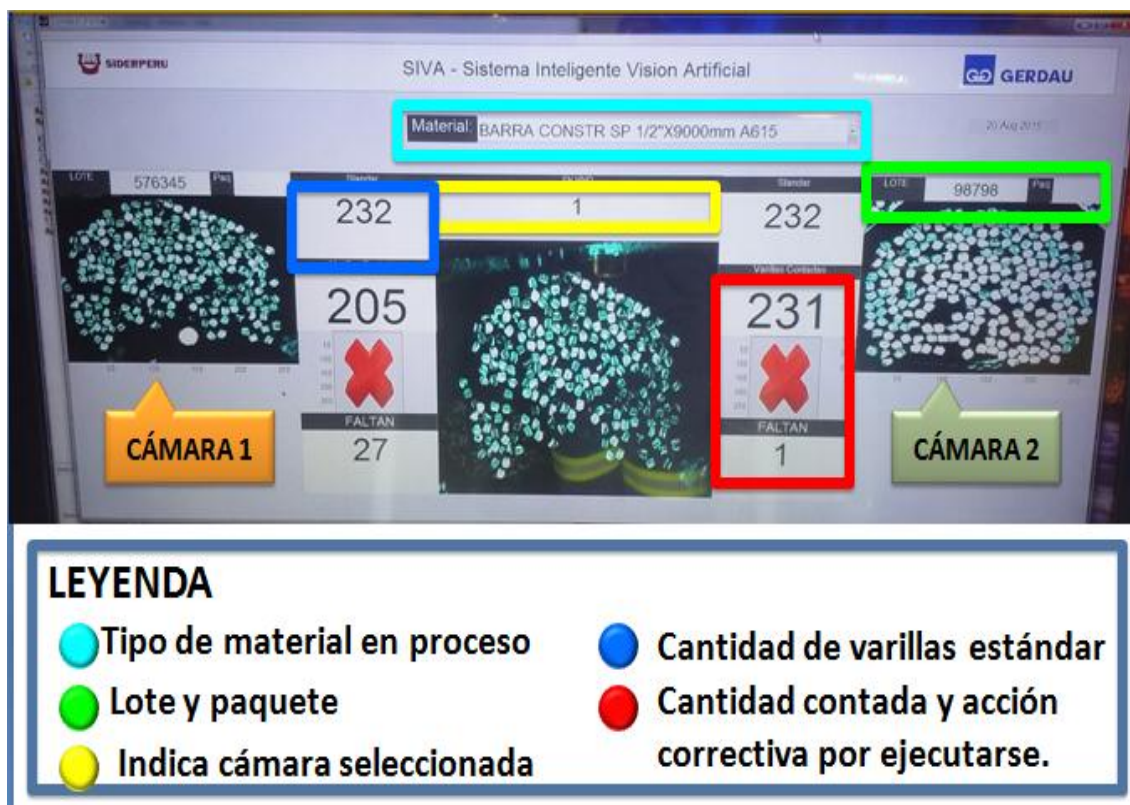
## Anexo 7: Informe de conformidad del cliente – Laminación Largos



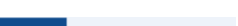
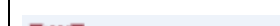




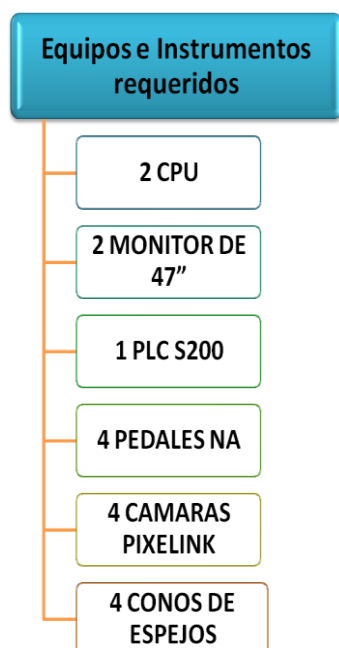
## Anexo 8: Interface del sistema de conteo automático



## Anexo 9: Procedimiento de Rutina del Sistema de conteo automático

	PROCEDIMIENTO DE RUTINA	PR-630-018	Rev. 0	103/ 4	
		LAMINACIÓN LARGOS			
Conteo automático de barras de construcción del Laminador 1 y 2					

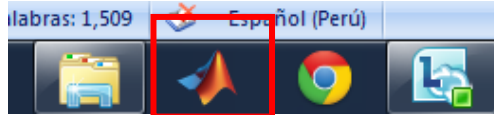
1. **OBJETIVO:** Determinar los pasos para realizar el conteo automático de varillas.
  
2. **CAMPLO DE APLICACIÓN:** El procedimiento se aplica en la zona de acabados del laminador 1 y 2 – Aplicado para BC de 1/2", 12mm, 3/4", 5/8", 1" y 1.3/8"
  
3. **RESPONSABLES Y FUNCIONES:**
  - 3.1. **Jefe de laminación:** Hace cumplir el procedimiento de rutina
  - 3.2. **Operador de Acabados:** Realiza la inspección del área de trabajo, evalúa condiciones sub-estándar e informa si el mantenimiento es necesario.
  - 3.3. **Inspector de calidad- Lam. Largos:** Valida el correcto funcionamiento del sistema de conteo automático.
  
4. **ASPECTOS GENERALES DE SEGURIDAD:**
  - 4.1. Cumplir siempre la segunda regla general de seguridad : “**Mantenerse siempre a distancia segura de cargas suspendidas**”
  
5. **COMPONENTES DEL SISTEMA:**




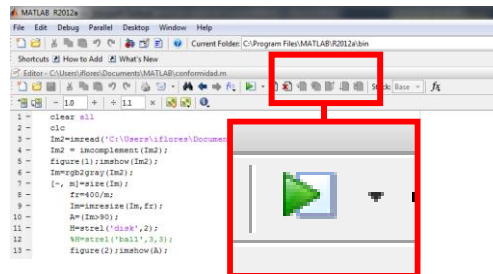
## 6. DESARROLLO:

### PARA LA EJECUCIÓN DE LA APLICACIÓN:

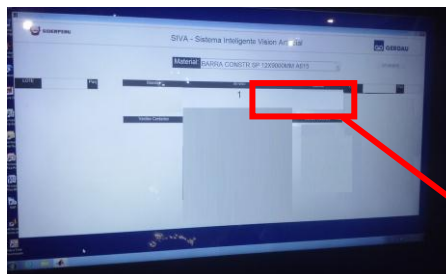
6.1. El operador de acabados abrirá el MATLAB, en caso la aplicación se encontrara cerrada.



6.2. Ejecutará la aplicación haciendo clic en  “RUN” o presionando la tecla “F5”




Aparecerá la siguiente ventana, que indica que la aplicación está ejecutándose:



**Seleccionar**

### PARA LA REALIZACIÓN DEL CONTEO:

6.3. El operador de acabados deberá presionar el pedal para la selección de cámara.

	
<b>Cámara 1</b>	<b>Cámara 2</b>
<b>Pedal de color amarillo</b>	<b>Pedal de color plomo</b>

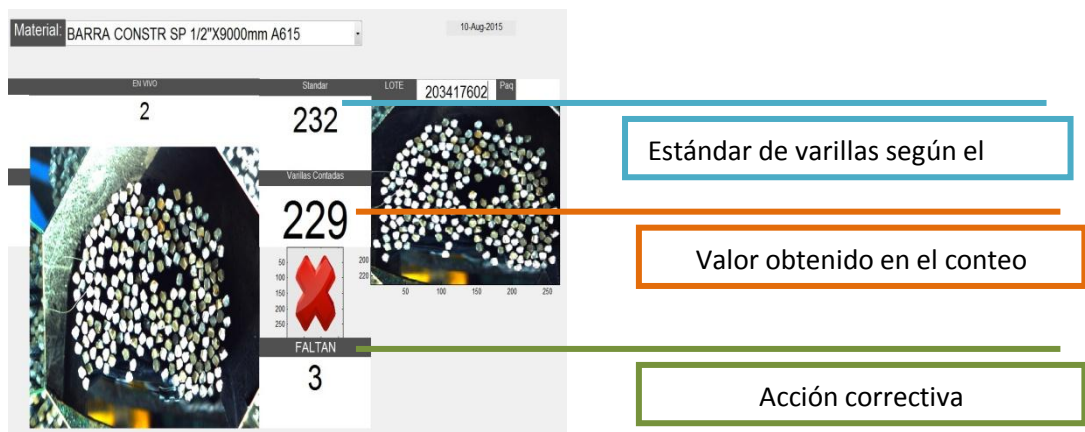
Mostrará la pantalla, donde la cámara ya haya sido seleccionada



6.4. Presiona nuevamente el pedal de la cámara seleccionada para **realizar el conteo automático**



La pantalla indicará el resultado del conteo, si es correcto o incorrecto.



**DEL RESULTADO:**

6.5. Realiza la acción correctiva agregando o quitando varillas según como se le indique en la pantalla.

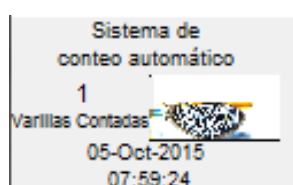






- 6.6. Realice el recuento presionando nuevamente (como se indica en punto 4.4.)el pedal para la confirmación de la acción anterior.



Si el resultado del conteo cumple con el estándar, se imprimirá la siguiente etiqueta. De lo contrario, se deberá repetir desde el punto 4.4.



- 6.7. El inspector de calidad realizará el recuento manual de 2 paquetes por lote que serán escogidos de manera aleatoria para validar la cuenta respectiva, reportándolo en su tabla de reporte como se indica en PR-630-007 - GESTIÓN DE NO CONFORMES DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN.

Criterios Generales de Seguridad, Salud, Ambientales y de Calidad	
 <p>Todos los residuos generados deben ser segregados en los contenedores correspondientes de residuos asignados en el Laminador 1 y Laminador 2 (Acabado de Barras) y luego trasladarlos al punto de acopio de Largos.</p>	 <p>-Todo producto terminado deberá cumplir con los estándares de calidad.</p>  <p>- Utilice todo los EPPs de seguridad exigido para esta actividad y de acuerdo a la matriz de Seguridad EO-630-014.</p> <p>Es responsabilidad del colaborador cumplir con el PR-630-018 (Conteo automático de barras de construcción del Laminador 1 y 2)</p>



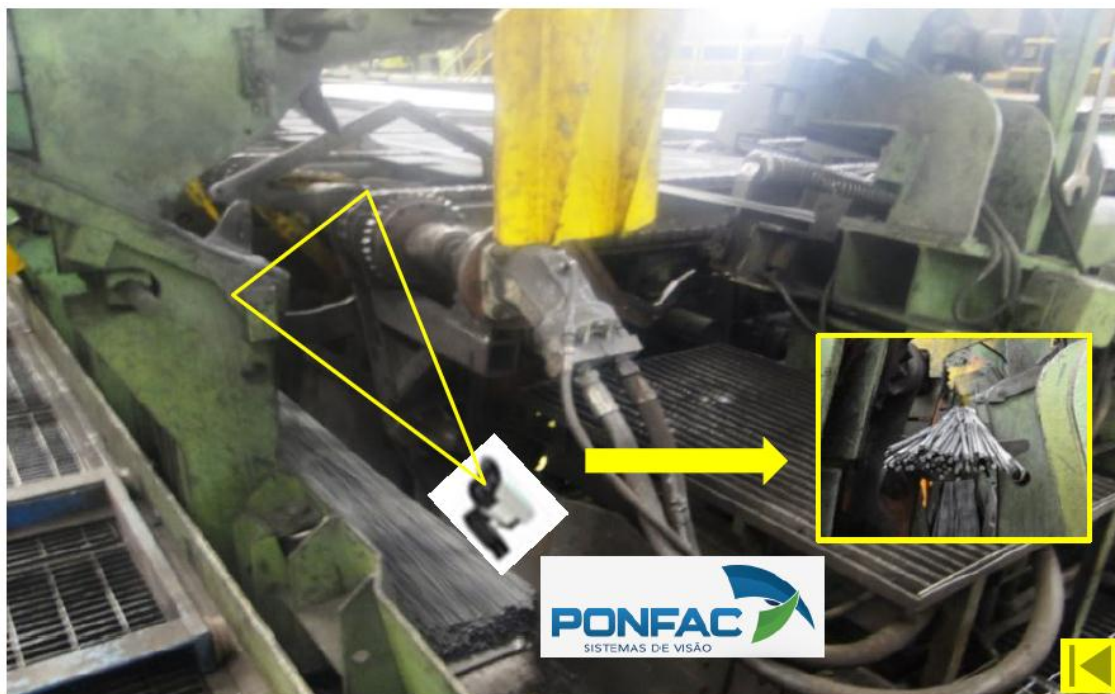
## Anexo 10: Ejemplo de registro de la base de datos



### LISTA DE CONFORMIDAD

LOTE	PQT.	CONTEO AUTOMÁTICO	CONTEO REAL	OBSERVACIÓN	Desvío
2003399802	6	232	232		0
2003399802	7	232	232		0
2003510902	2	231	232	Barra mordida	1
2003510902	6	232	232		0
2003510902	7	232	232		0
2003511003	6	232	232		0
2003218202	12	232	232		0
2003224302	2	232	232		0
2003224302	6	232	232		0
2003224302	10	230	232	Barra con corte desnivelado	2
2003244602	7	231	232	Barra con corte desnivelado	1
2003244602	11	232	232		0
2003226502	2	232	232		0
2003226502	6	232	232		0
2003226502	10	231	232	Barra con corte desnivelado	1
2003225602	1	232	232		0
2003225602	5	232	232		0
2003225602	8	232	232		0
2003273402	14	230	230	Corregido	0
2003225602	10	232	232		0
2003225602	14	232	232		0
2003225402	1	231	232	Barra con corte desnivelado	1
2003225402	5	232	232		0
2003225402	9	232	232		0
2003225402	13	232	232		0
2003225502	1	232	232		0
2003225502	5	232	232		0
2003225502	6	232	232		0

**Anexo 11: Referencia de benchmarking de corporativo Gerdau – Divinópolis – Brasil.**





*Câmera e iluminadores*

